Etude No. 92
IGM83-079-092

PROGRAMMES POUR ESSAIS EN FATIQUE OLIGOCYCLIQUE A HAUTE TEMPERATURE

PAR

HUU LUAN NGUYEN

Août 1983

CNRC 21373

Note au lecteur:

Les idées exprimées dans ce document sont celles de l'auteur (ou du contractant) et ne sont pas nécessairement partagées par l'Institut de genie des matériaux ou par le Conseil national de recherches Canada. L'auteur (ou le contractant) en assume l'entière responsabilité.

Si la demande est suffisante, des exemplaires supplémentaires de cet ouvrage pourront être disponibles dans la seconde langue officielle (français ou anglais).

Note to the reader:

The views expressed in this document are those of the author (or contractor) who assumes their full responsibility. They are not necessarily shared by the Industrial Materials Research Institute or the National Research Council of Canada.

If sufficient requests are received, a copy of this document will be made available in the other official language (French or English).

SOMMAIRE

Une brève revue des concepts de base associés aux essais de fatigue oligocyclique est présentée dans ce rapport, suivie par la description du fonctionnement des programmes FATHT 1 et FATHT 2 développés pour le contrôle des essais à déformation axiale contrôlée à haute température. Les programmes HYSTER et REPCON utilisés pour l'analyse des résultats expérimentaux sont également décrits. L'utilisation de chacun de ces programmes est illustrée à l'aide des exemples.

ABSTRACT

A brief review on basic concepts associated to low-cycle fatigue testing is presented in this report, followed by the description of the programs FATHT 1 and FATHT 2 used for high temperature axial strain-controlled fatigue tests. The programs HYSTER and REPCON used for data analysis are also described. Various examples are included to illustrate the application of these programs in running fatigue tests.

TABLE DES MATIERES

Section			page
1.	INTRODUCTION		
2.	CONCEPTS DE BASE		2
	2.1	Déformation plastique	3
	2.2	Réponse en contrainte cyclique	5
	2.3	Nombre de cycles à la rupture	6
3.	DESCRIPTION DES PROGRAMMES FATHT 1 ET FATHT 2		12
	3.1	Structure des programmes	12
		3.1.1 Spécification des paramètres d'essai	13
		3.1.2 Préparation et chauffage	17
		3.1.3 Génération du signal de commande	17
		3.1.4 Acquisition de données	18
		3.1.5 Contrôle de l'essai	20
	3.2	Remarques sur les filières de données	21
	3.3	Commandes spéciales	22
	3.4	Exécution des programmes	24
4.	ANALYSE DES RESULTATS		34
	4.1	Programme HYSTER	35
		4.1.1 Description du programme	35
		4.1.2 Exécution du programme	36

4.2 Programme REPCON 47

4.2.1 Description du programme 47

4.2.2 Exécution du programme 54

ANNEXE A Equipements et procédure expérimentale 60

A.1 Equipements 60

A.2 Extensomètre 61

A.3 Echantillon 63

A.4 Procédure expérimentale 63

A.4.1 Calibration des instruments 63

A.4.2 Installation de l'échantillon 66

A.4.3 Chauffage 67

ANNEXE B Imprimés des programmes FATHT 1 et FATHT 2 68

ANNEXE C Imprimé du programme HYSTER 80

ANNEXE D Imprimé du programme REPCON 85

LISTE DES FIGURES

Figures		Page
1.	Illustration d'une boucle d'hystérésis contrainte-déformation	4
2.	Réponse en contrainte typique du matériau résultant du cyclage à déformation contrôlée. a) consolidation cyclique; b) adoucissement cyclique	7
3.	Exemple typique d'une courbe de fatigue oligocyclique $\Delta\varepsilon$-N_f	9
4.	Schéma de l'organigramme des programmes FATHT1 et FATHT2	14
5.	Exemple d'un graphique montrant toutes les boucles d'hystérésis contenues dans plusieurs filières différentes	38
6.	Graphique d'une boucle d'hystérésis montrant toutes les valeurs de contrainte et de déformation associées à cette boucle	39
7.	Graphique d'une boucle d'hystérésis simple	40
8.	Exemple d'un graphique montrant les boucles d'hystérésis aux différents cycles superposées	44
9.	Courbes des déformations maximale et minimale en fonction des nombres de cycles appliqués	48
10.	Courbes des contraintes maximale, minimale et moyenne en fonction des nombres de cycles appliqués	49
11.	Courbes des contraintes maximale, minimale et moyenne en fonction du rapport de cycles non dimensionnel n/N_f	50
12.	Courbe de l'écart de contrainte ($\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$) en fonction des nombres de cycles appliqués	51
13.	Courbe de l'écart de contrainte ($\Delta\sigma$) en fonction du rapport de cycles non-dimensionnel n/N_f	52
14.	Tableau des valeurs de contrainte et de déformation correspondant aux différents cycles	53

15. Photo illustrant l'échantillon et l'extensomètre utilisés pour l'essai de fatigue à haute température 62

16. Echantillon cylindrique pour l'essai de fatigue oligocyclique 64

17. Photo du montage de l'essai de fatigue à haute température 65

NOTATIONS

E	=	module d'élasticité
n	=	nombre de cycles appliqués
N_f	=	nombre de cycles à la rupture
σ	=	amplitude de contrainte cyclique = $\Delta\sigma/2$
σ_{max}	=	contrainte cyclique maximale
σ_{min}	=	contrainte cyclique minimale
σ_{moy}	=	contrainte cyclique moyenne
$\Delta\sigma$	=	écart de contrainte (stress range) = $\sigma_{max} - \sigma_{min}$
ε	=	amplitude de déformation = $\Delta\varepsilon/2$
ε_{max}	=	déformation maximale
ε_{min}	=	déformation minimale
$\Delta\varepsilon$	=	écart de déformation (strain range)= $\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}$
$\Delta\varepsilon_e$	=	écart de déformation élastique
$\Delta\varepsilon_p$	=	écart de déformation plastique
$\Delta\varepsilon_t$	=	écart de déformation totale

1. INTRODUCTION

Les essais de fatigue oligocyclique sont extrêmement utiles pour la conception des structures soumises aux déformations plastiques cycliques ainsi que pour le développement des nouveaux matériaux. Par exemple, les résultats d'essais avec des échantillons lisses peuvent être utilisés pour prédire la vie cyclique des composantes entaillées. Ils permettent également d'évaluer le comportement cyclique d'un matériau; autrement dit, à l'aide de ces essais on peut déterminer expérimentalement si le matériau se durcit ou s'adoucit lorsqu'il est soumis à la déformation plastique cyclique.

Le projet de caractérisation de l'Inconel 625 en fatigue oligocyclique à haute température est à l'origine du développement, à l'IGM, des programmes informatiques FATHT 1 et FATHT 2 pour le contrôle des essais en fatigue à déformation axiale contrôlée. L'automisation de ces essais, en plus de simplifier la procédure expérimentale, augmente la précision des données et réduit considérablement le temps requis pour l'analyse des résultats. Les programmes HYSTER et REPCON ont été également développés pour le traçage des boucles d'hystérésis contrainte-déformation et des courbes de réponse en contrainte cyclique du matériau. Ces programmes sont utilisables aussi bien pour les essais à haute température qu'à température ambiante. De plus, quelques simples modifications les rendent applicables aux essais plus complexes (par exemple, cyclage avec des temps de maintien ou à amplitude variable).

Les concepts de base associés aux essais de fatigue oligocyclique sont introduits dans ce rapport, suivis par la description de la structure et du fonctionnement des programmes FATHT 1 et FATHT 2. L'organisation des filières de données (data files) est également décrite. La méthode d'analyse des résultats est brièvement discutée, suivie par la description des programmes HYSTER et REPCON. L'utilisation de chacun des programmes développés est illustrée à l'aide des exemples.

2. CONCEPTS DE BASE

Un essai de fatigue vise à évaluer, en plus de la résistance du matériau représentée par sa vie cyclique correspondant à un niveau de chargement, son comportement cyclique qui se manifeste uniquement lorsque le matériau est soumis à la fatigue. Dans le cas d'un essai à déformation totale contrôlée, le paramètre à contrôler est la déformation qui comporte une composante élastique et une composante plastique. Cela veut dire que l'échantillon est soumis à chaque cycle aux mêmes limites de déformation jusqu'à sa rupture. Les conditions d'essai, i.e. la température et la fréquence, doivent être également maintenues fixes. Afin de caractériser le comportement cyclique du matériau, nous devons évaluer les paramètres suivants:

- la quantité de déformation plastique développée;
- la réponse du matériau en contrainte cyclique;
- les nombres de cycles à l'initiation des fissures et à la rupture.

2.1 Déformation plastique

Au niveau de déformation cyclique suffisamment élevé, à chaque cycle la réponse du matériau au cyclage est manifestée par une boucle d'hystérésis contrainte-déformation (fig. 1). La déformation totale peut être partitionnée en deux composantes: une composante élastique et une composante plastique. La déformation élastique est reliée à la contrainte cyclique par (fig. 1):

$$\Delta\varepsilon_e = \frac{\Delta\sigma}{E} \qquad (1)$$

où E = module d'élasticité

La déformation plastique, représentée par la largeur de la boucle mesurée au niveau de la contrainte moyenne, est donnée par (fig. 1):

$$\Delta\varepsilon_p = \Delta\varepsilon_t - \Delta\varepsilon_e \qquad (2)$$

Il est apparent que la déformation plastique cyclique est l'un des paramètres les plus importants qui contrôlent la résistance à la fatigue des matériaux. Elle a été identifiée comme l'origine du dommage de fatigue et reliée directement à la vie cyclique. En contrôlant la déformation totale durant l'essai, on peut mesurer la déformation plastique cyclique qui résulte du cyclage. Il est à noter que la seule valeur significative de cette composante tant pour la corrélation expérimentale avec la vie cyclique que pour

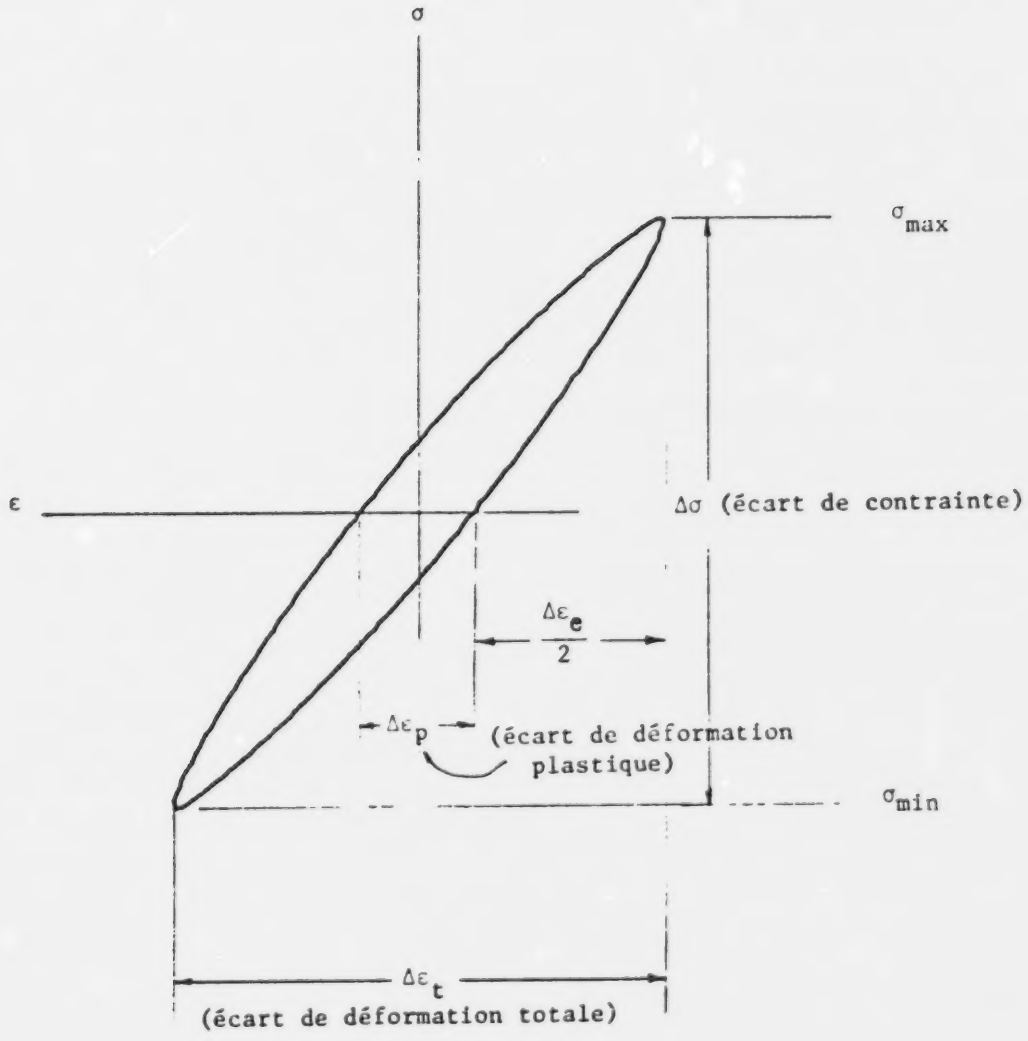


Fig. 1 Illustration d'une boucle d'hystérésis contrainte-déformation.

l'application des méthodes de prédiction de vie est celle correspondant à la saturation du comportement cyclique du matériau. Cet aspect de saturation de la réponse du matériau sera discuté dans le paragraphe suivant.

2.2 Réponse en contrainte cyclique

Durant l'essai à déformation contrôlée, la contrainte cyclique nécessaire pour maintenir la déformation totale constante varie en fonction du nombre de cycles appliqués. Cette variation est particulièrement prononcée au début de l'application de la charge et à l'approche de la rupture de l'éprouvette. La réponse initiale de la contrainte cyclique révèle le comportement du matériau résultant du cyclage: la consolidation cyclique est caractérisée par une augmentation et l'adoucissement cyclique par une diminution de la contrainte. Dans le cas d'un matériau qui présente un comportement cyclique stable, cette variation initiale de la contrainte, relativement rapide, est suivie par une longue période durant laquelle elle se stabilise; la boucle d'hystérésis est donc fermée et sa forme reste invariable. Par la suite, l'initiation d'une fissure dans la longueur de jauge fait baisser brusquement la contrainte. Finalement, la propagation de la fissure est caractérisée par une diminution continuelle de la contrainte. Ceci peut être expliqué par le fait que, à partir du moment où la fissure commence à se propager, ce que nous mesurons comme déformation de l'éprouvette inclut l'ouverture de cette fissure. Comme il demande

naturellement moins de force pour ouvrir la fissure que pour déformer le matériau, la contrainte ne fait que baisser graduellement. La figure 2 illustre schématiquement les différentes caractéristiques de la réponse en contrainte cyclique d'un matériau dans un essai à déformation contrôlée.

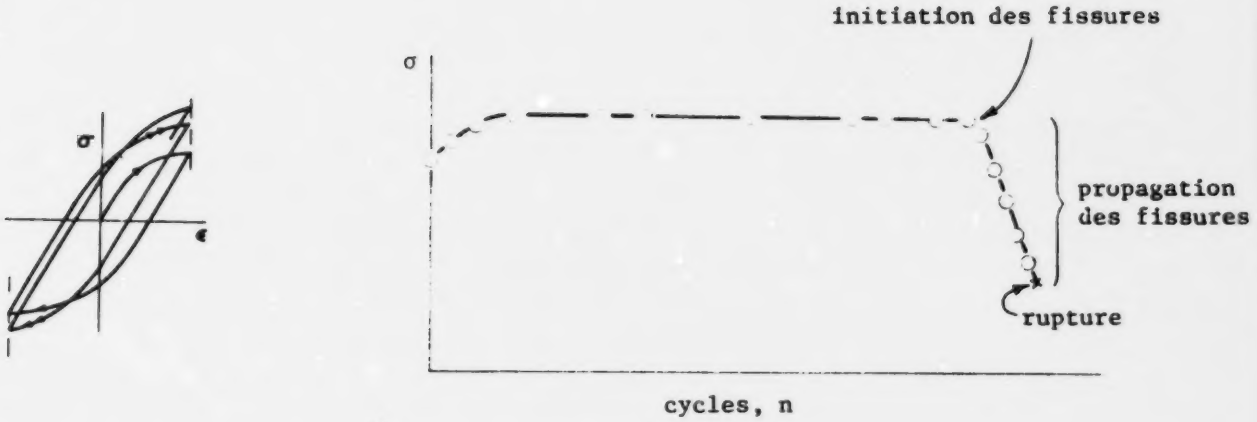
On doit noter que la réponse de certains matériaux au cyclage ne présente pas les caractéristiques générales décrites précédemment. Par exemple, dans certains cas, la période de saturation de la contrainte cyclique n'a pas été observée.

Pratiquement, l'enregistrement de la variation de la contrainte cyclique en fonction du nombre de cycles appliqués nous fournit de nombreux renseignements importants, par exemple:

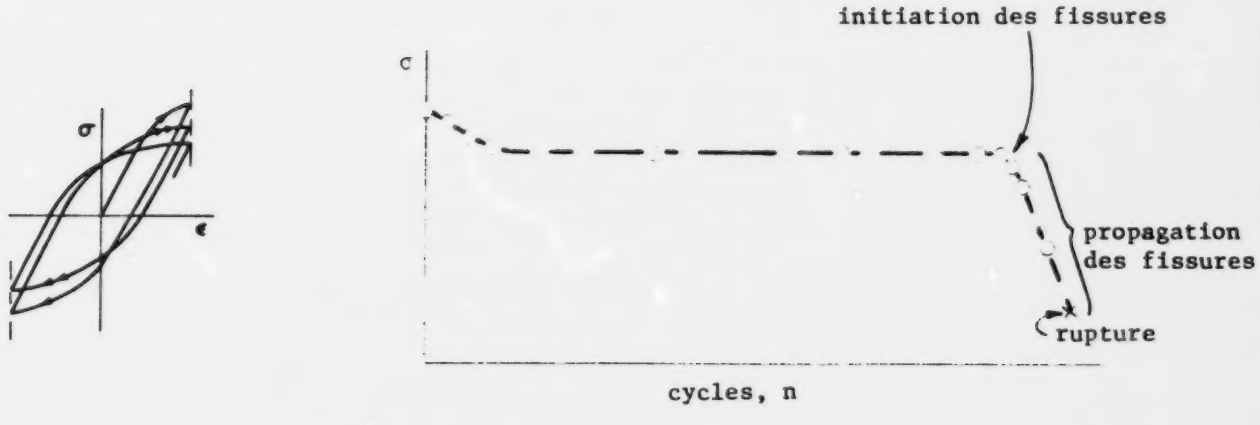
- il indique si le matériau devient plus fort lorsqu'il est cyclé (consolidation cyclique), ce qui est souhaitable;
- il permet d'identifier la période de saturation de la réponse du matériau à laquelle les déformations élastique et plastique développées doivent être évaluées.

2.3 Nombre de cycles à la rupture

L'information la plus importante que nous devons recueillir des essais cycliques concerne naturellement la résistance à la fatigue du matériau, représentée par les nombres de cycles à l'initiation de



a)



b)

Fig. 2 Réponse en contrainte typique du matériau résultant du cyclage à déformation contrôlée. a) consolidation cyclique; b) adoucissement cyclique.

la fissure et à la rupture. Ces résultats nous permettent d'établir la courbe de fatigue classique $\Delta\varepsilon - N_f$ qui relie la vie en fatigue du matériau à la déformation cyclique (fig. 3).

Un aspect expérimental important est lié aux critères de définition de la rupture. Pratiquement, il n'existe pas de critères uniques pour définir l'initiation des fissures et la rupture. Par exemple, l'initiation peut être définie comme étant le nombre de cycles correspondant à une certaine longueur de la fissure principale; elle peut également être associée à un certain pourcentage de diminution de la contrainte cyclique par rapport au niveau de saturation. De la même façon, il est possible de définir la rupture comme étant la séparation complète de l'échantillon en deux parties ou, le nombre de cycles correspondant à une certaine longueur "critique" de la fissure. Cependant, les considérations expérimentales ne nous permettent pas d'atteindre le stade de la rupture complète de l'éprouvette, vu que le système d'extensométrie peut être gravement endommagé dans ce cas. Par conséquent, nous devons généralement arrêter l'essai lorsque la fissure atteint une certaine longueur assez importante pour pouvoir obtenir un résultat représentatif de la vie du matériau et assez faible pour ne pas endommager le système d'extensométrie. Cette longueur critique de la fissure peut être associée, par expérience, à un certain pourcentage de réduction de la contrainte cyclique.

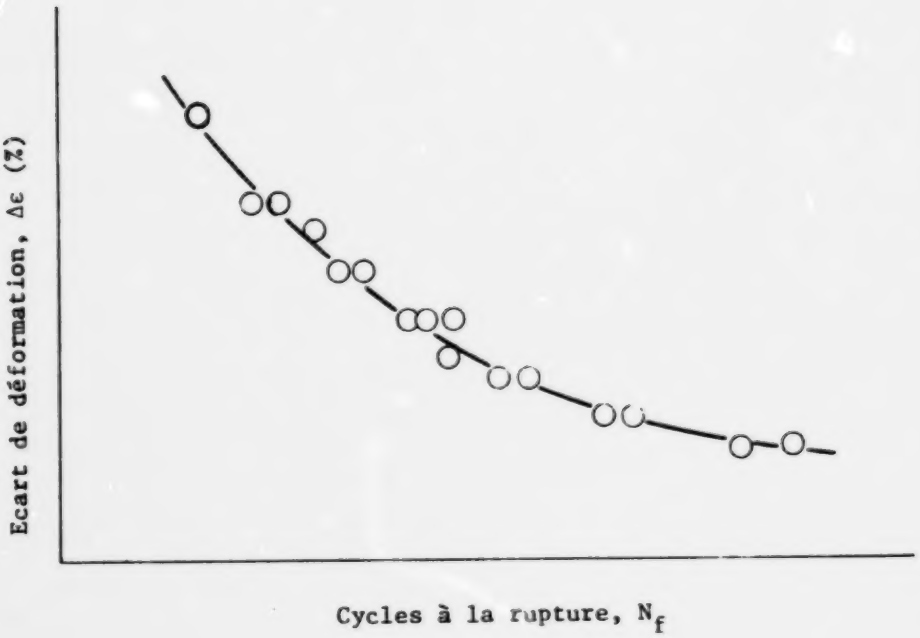


Fig. 3 Exemple typique d'une courbe de fatigue oligocyclique $\Delta\varepsilon$-N_f.

En résumé, en effectuant un essai de fatigue oligocyclique, à déformation totale contrôlée, nous devons être en mesure d'évaluer les paramètres suivants:

- la variation de la contrainte cyclique en fonction du nombre de cycles appliqués;
- les composantes élastique et plastique au niveau de saturation;
- la contrainte cyclique au niveau de saturation (reliée à la déformation élastique par le module d'élasticité);
- le nombre de cycles à l'initiation de la fissure;
- le nombre de cycles à la rupture.

Les programmes ont été développés de façon à nous permettre de déterminer complètement tous ces paramètres lorsque l'expérience est complétée. A cette fin, les boucles d'hystérésis sont enregistrées périodiquement tout au long de l'essai. Elles sont acquises plus fréquemment au début du cyclage et lorsque la fissure commence à se propager rapidement. Ainsi, à un nombre de cycles donné, la boucle d'hystérésis enregistrée nous permet de calculer:

- les contraintes maximales, minimale et moyenne;
- les déformations élastique et plastique.

En traçant les valeurs des contraintes cycliques en fonction du nombre de cycles, nous obtenons la courbe de réponse du matériau.

Nous identifions ensuite sur cette courbe:

- le niveau de saturation (afin d'évaluer les déformations élastique et plastique stabilisées);
- le nombre de cycles correspondant au changement de pentes (initiation de la fissure);
- le nombre de cycles correspondant à un certain pourcentage de réduction de la contrainte (rupture).

En plus d'acquérir régulièrement les données sous forme de boucles d'hystérésis, le programme doit remplir les fonctions suivantes:

- générer un signal de commande conforme aux conditions d'essai spécifiées par l'opérateur;
- corriger, par commande de l'opérateur, le signal généré de façon à maintenir la réponse du système le plus proche possible de la commande;
- contrôler continuellement l'essai en comparant la contrainte maximale de chaque cycle avec le niveau de saturation afin de détecter l'apparition des fissures et éventuellement la rupture de l'échantillon.

3. DESCRIPTION DES PROGRAMMES FATHT 1 et FATHT 2

Ces deux programmes sont liés ensemble durant l'exécution pour compléter l'essai de fatigue à haute température. FATHT 1 définit les paramètres de l'essai, calcule la longueur de jauge et la section de l'échantillon à haute température. FATHT 2 génère le signal de commande, enregistre les boucles d'hystérésis et contrôle l'essai.

Le programme FATHT 2 utilise un certain nombre de routines développés par MTS (Réf. "MTS 773 Multi-User Basic Programming Manual") pour:

- générer le signal de commande (FGARB)
- faire l'acquisition de données (IMMED, TIMED, PKVAL, MAX, MIN)
- copier les données binaires sur le disque (AOUT).

3.1 Structure des programmes

Le déroulement des programmes FATHT 1 et FATHT 2 comporte les étapes suivantes:

- spécification des paramètres d'essai
- préparation et chauffage
- génération du signal de commande
- acquisition de données
- contrôle de l'essai

La figure 4 illustre schématiquement l'organigramme des programmes FATHT 1 et FATHT 2 dont les imprimés sont donnés à l'annexe B.

3.1.1 Spécification des paramètres d'essai

Avant de commencer le cyclage, le programme demande à l'opérateur de fournir certains renseignements généraux et de spécifier les caractéristiques de l'échantillon, les conditions d'essai et le critère définissant la rupture.

Les renseignements généraux comprennent:

- le nom du matériau étudié
- le numéro de l'échantillon
- le numéro de l'extensomètre utilisé pour la mesure et le contrôle de la déformation
- les échelles de charge et de déformation du contrôleur; ces échelles permettent à l'ordinateur de faire la conversion des valeurs analogiques mesurées dans des unités usuelles.

Les caractéristiques de l'échantillon sont définis par;

- son diamètre
- sa longueur de jauge

Le diamètre permet à l'ordinateur de calculer la section et par la suite les valeurs de la contrainte nominale à partir de celles de

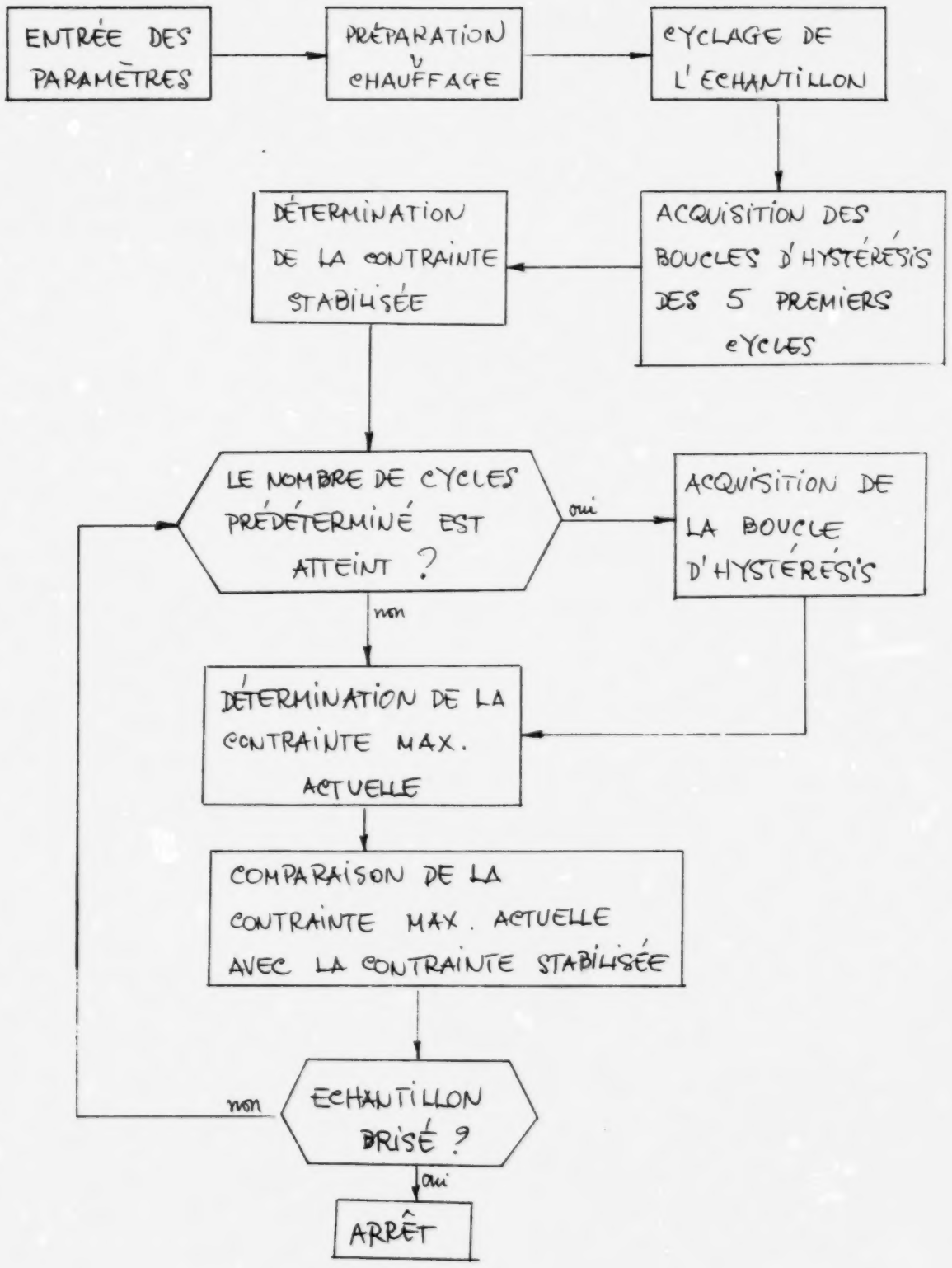


Fig. 4. Schéma de l'organigramme des programmes FATHT1 et FATHT2.

la charge mesurée. Il est cependant à noter que, pour ces calculs, la section de l'échantillon à haute température est utilisée. La longueur de jauge permet d'obtenir, à partir des mesures d'élongation, les valeurs de déformation non-dimensionnelle.

Les conditions d'essai sont établies par les paramètres suivants:

- la température ambiante (avant le chauffage)
- la température de l'essai
- le taux de déformation qui définit la fréquence du cyclage
- l'amplitude de déformation à contrôler qui définit les limites du cyclage.

Le taux de déformation ($\dot{\varepsilon}$) est relié à la fréquence (f) et l'amplitude de déformation (ε) par la relation:

$$\dot{\varepsilon} = 4\varepsilon f$$

A titre d'exemple, la fréquence correspondant à une amplitude de déformation de 2% et un taux de déformation de 1%/sec est égale à 0.125 Hz.

L'opérateur est demandé ensuite de choisir l'une des deux options comme critère pour terminer l'essai:

1) lorsqu'un nombre de cycles désiré est complété;

2) lorsque l'échantillon est rompu.

Normalement, le programme cherche à arrêter l'essai bien avant la rupture complète de l'éprouvette, à l'exception de certains cas spéciaux, par exemple, lorsque la fissure principale est initiée à l'extérieur de la longueur de jauge (dans ce cas, la contrainte cyclique peut augmenter au lieu de diminuer après l'initiation de la fissure). Ainsi, si la deuxième option est choisie, l'opérateur est demandé de spécifier le critère de rupture basé sur un pourcentage de réduction de la contrainte cyclique par rapport à la contrainte stabilisée. Le pourcentage spécifié doit être supérieur à 10% (pour une raison qui sera expliquée plus loin); typiquement une réduction de 60% de la contrainte cyclique correspond à une fissure assez importante pour conduire à la séparation complète de l'éprouvette après un nombre très faible de cycles.

Le programme demande ensuite à l'opérateur d'entrer un nom qui sera associé aux filières de données (data files) créées durant l'essai. Ce nom, composé au maximum de 4 caractères, doit permettre d'identifier le matériau étudié et le numéro de l'échantillon. A titre d'exemple, pour un essai effectué avec l'échantillon #48 du matériau "Inconel 625" on peut faire entrer le nom suivant: IN 48. De cette façon, n'importe quelle filière peut toujours être référée à un essai donné.

La plupart des paramètres fournis précédemment sont conservés, avec les données acquises durant l'essai, dans des filières (discutées plus loin).

3.1.2 Préparation et chauffage

L'opérateur est ensuite guidé par le programme à travers les dittérentes étapes pour préparer l'essai et le chauffage de l'échantillon. La charge est maintenue à une valeur nulle pendant le chauffage afin d'éliminer toutes les contraintes thermiques possibles. Lorsque la température est atteinte et parfaitement stabilisée, l'opérateur donne une commande à l'ordinateur qui mesure alors l'élongation de l'éprouvette due à l'effet thermique, calcule le coefficient de dilatation thermique et la section à cette température.

3.1.3 Génération du signal de commande

Pour commencer le cyclage, un signal triangulaire de valeur moyenne nulle, dont l'amplitude correspond à l'amplitude de déformation et dont la fréquence correspond au taux de déformation spécifié, est généré par le programme. Ce signal peut être modifié, par suite d'une commande de l'opérateur (section 3.3), en amplitude et en valeur moyenne par l'ordinateur durant l'essai afin de corriger, par exemple, une réponse du système qui est trop faible par rapport à la commande. Dans ce cas, le programme procède automatiquement à tous les calculs nécessaires pour ajuster ce signal. Il est à noter que la génération du signal ne s'interrompt pas lorsque le programme est arrêté à cause d'une erreur.

3.1.4 Acquisition de données

Au cours de l'essai, le programme enregistre les boucles d'hystérésis à des périodes prédéterminées. Chaque boucle est décrite par 169 points, chaque point étant une couple de valeurs de charge et d'élongation. En terme de mémoire, chaque boucle occupe 2 "blocks" de 256 "words" chaque.

Aussitôt que le cyclage commence, l'ordinateur se met à acquérir les boucles de chacun des 5 premiers cycles et ensuite celles correspondant aux nombres de cycles suivants:

10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1500, 2000 2500, 3000, 3500, 4000, 4500,

et après chaque 500 cycles jusqu'à la rupture de l'échantillon.

Lorsqu'une boucle est acquise, les valeurs maximales et minimales de contrainte et de déformation sont imprimées sur le terminal.

Toutes les boucles acquises sont conservées dans des filières qui, une fois remplies, sont écrites sur le disque rigide (hard disk). Pendant l'essai, ces filières sont créées successivement et numérotées comme suit: ØØ, Ø1, Ø2, Ø3, ..., 99. A

l'exception de la première filière ouverte (#ØØ) qui contient seulement 5 boucles (des 5 premiers cycles) et de la dernière créée avant la rupture de l'échantillon, chaque filière (#Ø1 à 99) conserve exactement 10 boucles acquises successivement. Lorsqu'une filière est créée, elle reste ouverte tant qu'elle n'est pas remplie avec ses 10 boucles. Une fois remplie, la filière est fermée et ensuite écrite sur le disque et une nouvelle filière est créée.

Voici l'ordre dans lequel les filières sont créées et les boucles conservées pendant l'essai:

FILIERE # ØØ

cycles 1, 2, 3, 4, 5

FILIERE # Ø1

cycles 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100,

FILIERE # Ø2

cycles 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600,

FILIERE # Ø3

cycles 650, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1500, 2000,

etc.

La raison pour laquelle plusieurs filières différentes doivent être créées puis fermées successivement pour accepter les données au lieu d'une seule longue filière qui doit conserver toutes les boucles acquises pendant l'essai est double. Premièrement, cette façon de conserver les boucles permet à l'opérateur de les examiner pendant même que l'essai progresse (le logiciel de l'ordinateur ne permet de lire les données contenues dans une filière donnée que si celle-ci est fermée après avoir été créée; par conséquent, si une seule longue filière était créée pour conserver toutes les boucles et fermée seulement à la fin de l'essai, l'ordinateur ne pourrait pas lire ses données pour tracer les boucles pendant que l'essai est en marche). Deuxièment, elle permet de prévenir la perte de toutes les données si un problème survient et fait arrêter l'ordinateur (une panne de courant par exemple). Dans ce cas, toutes les filières remplies avant la survenue du problème sont utilisables.

Lorsqu'une filière est remplie, le programme imprime un message sur le terminal pour l'indiquer. L'opérateur peut alors examiner les boucles contenues dans cette filière à l'aide du programme HYSTER (décrit à la section 4.1).

3.1.5 Contrôle de l'essai

Entre les cycles #50 à 100, le programme calcule la contrainte saturée en faisant la moyenne arithmétique des contraintes maximales entre ces cycles. Par la suite, à chaque cycle, la contrainte

maximale est comparée avec ce niveau de saturation. Une déviation de 5% entre ces deux paramètres est considérée comme l'apparition d'une fissure et un message est alors imprimé pour l'indiquer. Lorsque la réduction de la contrainte maximale atteint 10% de la contrainte saturée, le programme imprime un autre message et commence à enregistrer les boucles plus rapidement, c'est-à-dire à chaque 10 cycles jusqu'à ce que cette réduction atteint le pourcentage spécifié par l'opérateur comme critère de rupture. A ce moment, l'ordinateur lit le nombre de cycles complétés, ramène l'échantillon au niveau de déformation nulle, arrête le cyclage, le système hydraulique et la fournaise.

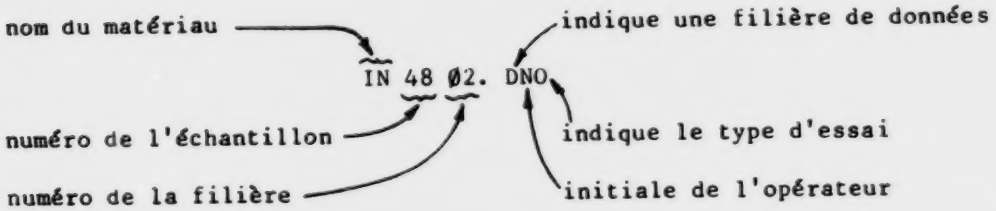
Avant de terminer, le programme indique les renseignements suivants:

- le nombre de filières de données remplies
- le nombre de boucles contenues dans la dernière filière créée (il arrive fréquemment qu'elle contient moins que 10 boucles).

3.2 Remarques sur les filières de données

Tel que mentionné précédemment, le nom d'une filière doit permettre d'identifier un essai donné, c'est-à-dire le matériau étudié et le numéro de l'échantillon. De plus, le numéro associé à chaque filière permet d'identifier son contenu, c'est-à-dire les nombres de cycles dont les boucles sont conservées; par exemple la filière #0 contient les boucles des 5 premiers cycles, la filière #1

celle des cycles 10, 20, ..., 100, etc. En plus de son nom, chaque filière comporte encore une extension composée de 3 caractères et séparée de son nom par un point indiquant l'initiale de l'opérateur et le type d'essai. A titre d'exemple, voici comment nous identifions la filière contenant les boucles des cycles #150, 200, ..., 600, associée à l'échantillon #48 du matériau "Inconel 625".



Dans ce même essai, la filière IN 48Ø3.DNO contiendrait les boucles des cycles #650, 700, ..., 2000.

3.3 Commandes spéciales

A la commande de l'opérateur, le programme peut suspendre temporairement le contrôle de l'essai et procéder à certaines tâches spéciales. Celles-ci sont exécutées quasi instantanément lorsque l'opérateur fait entrer au terminal 'ESC' suivi d'une lettre telle que décrite ci-dessous:

1) 'ESC' 'S' pour arrêter l'essai; sur réception de cette commande, l'ordinateur arrête le cyclage, le système hydraulique et la fournaise (similairement au cas où l'échantillon est brisé);

2) 'ESC' 'C' pour modifier l'amplitude (SPAN) et la valeur moyenne (SETPOINT) du signal de commande; cette commande est utilisée normalement lorsqu'on s'aperçoit par exemple que la réponse du système est plus faible que la commande ou qu'elle n'est pas parfaitement symétrique; l'ordinateur procède automatiquement aux calculs de la déviation entre la réponse et la commande et corrige le signal en conséquence;

3) 'ESC' 'I' pour faire imprimer les valeurs maximales et minimales de contrainte et de déformacion; sur réception de cette commande, l'ordinateur procède à l'évaluation de ces paramètres associés au cycle qui suit la commande et imprime ensuite ces valeurs sur le terminal;

4) 'ESC' 'B' pour enregistrer la boucle d'un cycle; sur réception de cette commande l'ordinateur procède à l'enregistrement, dans la filière actuellement ouverte, de la boucle d'hystérésis du cycle qui suit la commande et imprime ensuite les valeurs maximales et minimales de contrainte et de déformation associés à ce cycle sur le terminal; évidemment, lorsque cette commande est utilisée, l'ordre dans lequel les boucles apparaissent dans les filières est changé.

Ces commandes spéciales peuvent être envoyées à l'ordinateur indéfinitivement. Après que chacune de ces commandes soit exécutée, le programme reprend le contrôle de l'essai.

3.4 Exécution des programmes

Dans ce qui suit sera décrite la procédure à suivre pour exécuter les programmes FATHT 1 et FATHT 2 afin d'effectuer un essai de fatigue à déformation contrôlée à haute température. Un exemple typique est donné à l'annexe B. Pour un essai à température ambiante, on suivra exactement la même procédure. On suppose que l'échantillon soit déjà installé sur la machine et toutes les calibrations faites (une description de la procédure expérimentale est donnée à l'annexe A). Lorsqu'un point d'interrogation est posé, vous devez répondre par un mot ou un nombre pour continuer; lorsque le programme demande "TAPEZ 'RETURN'" entrez 'RETURN' pour continuer. Commencez par appeler le programme FATHT 1 et l'exécuter en faisant 'RUN FATHT 1'. Le programme FATHT 2 est exécuté automatiquement lorsque FATHT 1 est terminé.

RUN FATHT 1

Lorsque l'essai est déjà commencé, vous pouvez entrer:

- 'ESC' 'I' pour faire imprimer les contraintes et déformations maximales et minimales
- 'ESC' 'C' pour corriger l'amplitude et/ou la valeur moyenne du signal
- 'ESC' 'S' pour arrêter l'essai
- 'ESC' 'B' pour enregistrer la boucle d'un cycle.

Spécifiez les paramètres suivants:

1. Code du type d'essai ?

   Entrez une seule lettre pour définir le type d'essai. Par exemple, on peut entrer '0' pour indiquer qu'il s'agit d'un essai à haute température et 'F' lorsqu'il s'agit d'un essai à température ambiante.

2. Nom du matériau ?

   Indiquez un nom pour identifier le matériau testé.

3. Echantillon # ?

   Indiquez un nombre pour identifier le numéro de l'échantillon.

4. Extensomètre modèle # ?

   Indiquez le modèle de l'extensomètre utilisé pour la mesure et le contrôle de la déformation.

5. Echelle de déformation (%) ?

   Indiquez l'échelle de déformation choisie en vous référant au certificat de calibration de l'extensomètre. Notez que les échelles indiquées sur le contrôleur '442 CONTROLLER' associées à 'STRAIN ± PERCENT' ne sont pas nécessairement les mêmes que celles indiquées sur le certificat de calibration.

6. Echelle de charge (KN) ?

   Indiquez l'échelle de charge choisie en vous référant au contrôleur '442 CONTROLLER'.

7. Diamètre de l'échantillon (MM) ?

   Indiquez le diamètre de l'échantillon (6.35 mm pour l'échantillon standard).

8. Longueur de jauge de l'extensomètre (MM) ?

   Indiquez la longueur de jauge correspondant au modèle d'extensomètre utilisé.

9. Température ambiante (DEG.C) ?

   Indiquez la température mesurée sur l'échantillon en ce moment.

10. Température de l'essai (DEG.C) ?

    Indiquez la température à laquelle vous voulez effectuer l'essai.

11. Taux de déformation (%/SEC) ?

    Indiquez le taux de déformation du cyclage.

10. Amplitude de déformation à contrôler (%) ?

    Indiquez l'amplitude de déformation que vous voulez appliquer à l'éprouvette ($\Delta\varepsilon/2$).

13. L'échantillon sera cycle:

    1. à la rupture

    2. à un nombre de cycles limité

?

Entrez '1' si vous désirez effectuer l'essai jusqu'à la rupture de l'échantillon. Le programme passe à l'étape 14.
Entrez 2 si vous désirez appliquer seulement un certain nombre de cycles à l'échantillon. Le programme passe à l'étape 15.

14. La rupture est définie à quel pourcentage de diminution de la contrainte stabilisée (>10% - typique: 60%) ?
Indiquez le pourcentage de réduction de la contrainte stabilisée auquel l'échantillon est considéré d'être rompu et l'essai terminé. La valeur que vous entrez doit être supérieur à 10. Typiquement, on indique 60. Le programme passe à l'étape 16.

15. Nombre de cycles à appliquer?
Indiquez alors le nombre de cycles que vous voulez appliquer à l'échantillon.

16. Nom de la filière pour conserver les boucles d'hystérésis (base sur # d'échantillon et maximum 4 caractères) ?
Indiquez un nom n'ayant pas plus que 4 caractères pour identifier les filières de données associées au présent essai. Généralement ce nom doit être composé de lettres identifiant le matériau et de chiffres identifiant le numéro de l'échantillon.

Le programme vous demande ensuite de vérifier les paramètres fournis précédemment.

17. Vérifiez si les paramètres fournis sont corrects:

1. Code du type d'essai ---
2. Matériau ---
3. Echantillon # ---
4. Extensomètre modèle # ---
5. Echelle de déformation --- %
6. Echelle de charge --- KN
7. Diamètre de l'échantillon --- MM
8. Longueur de jauge de l'extensomètre --- MM
9. Température ambiante --- DEG.C
10. Temperature de l'essai --- DEG.C
11. Taux de déformation --- %/sec / frequence de cyclage --- Hz
12. Amplitude de déformation à contrôler --- % / écart de déformation --- %

* L'échantillon sera cycle jusqu'à la rupture qui est définie à % de diminution de la contrainte stabilisée.

++++ filière contenant les boucles d'hystérésis ---

18. Tous les paramètres sont corrects [O/N] ?

Répondez 'O' si tous les paramètres sont corrects.

Répondez 'N' si vous voulez corriger un ou plusieurs paramètres. Le programme revient alors à l'étape 1 et vous devez entrer de nouveau tous les paramètres (étapes 1 à 16).

19. Vérifiez si la lumière protectrice du disque est éteinte.
Lorsque vous êtes pret, tapez 'RETURN'.

Assurez-vous que la lumière 'WRITE PROT' localisée sur le système d'entraînement du disque rigide soit éteinte. Si elle reste allumée durant l'essai, le message suivant est donné:

"DIRECTORY I/O ERROR"

20. Vérifiez si le 'FEEDBACK SELECTOR' est en mode 'REMOTE'.
Tournez 'SPAN 1' à 10. Lorsque vous êtes prêt, tapez 'RETURN'.

Tournez le bouton 'REMOTE/LOCAL' localisé sur le 'FEEDBACK SELECTOR' à la position 'REMOTE'. Tournez le potentiomètre 'SPAN 1' à 10 volts.

Le message d'erreur suivant indiquerait que ces boutons ne se trouvent pas à la bonne position:

MODE SWITCH ERROR AT LINE 1410

21. Avez-vous fait le zéro de l'extensomètre à l'aide de la jauge avant de le monter?
Si oui, tapez 'RETURN'.

Vous êtes supposé d'avoir calibré le zéro de l'extensomètre avant de monter l'échantillon sur la machine. Si vous l'avez omis, vous devez le faire avant de continuer.

Après votre 'RETURN', le programme imprime le message suivant:

**** longueur de jauge de l'échantillon à température ambiante ---
MM

22. Mettez la pression hydraulique à 'HIGH'.
Lorsque vous êtes prêt, tapez 'RETURN'.

23. *** Important *** Actionnez la pompe manuelle pour avoir la pression correspondant à la charge maximale durant l'essai.
Lorsque vous êtes prêt, tapez 'RETURN'.

Déterminez à l'aide du graphique 'Maximum Reversed Load vs Grip Hydraulic Pressure Required' (fig. 2.2 - 'MTS Reference Manual', section 'High Temperature Furnace') la pression correspondant à la charge maximale que vous prévoyez atteindre durant l'essai. Appliquez ensuite, à l'aide de la pompe manuelle, la pression requise à l'échantillon.

24. Assurez-vous que l'eau de refroidissement pour les mors et l'air (ou l'eau) pour l'extensomètre soient bien appliqués.
Lorsque vous êtes prêt, tapez 'RETURN'.

25. Commencez à chauffer l'échantillon jusqu'à DEG.C. L'éprouvette sera maintenue à charge nulle durant le chauffage. Lorsque la température est stabilisée, tapez 'RETURN'.

Heure début chauffage:

26. Mettez les limites de 'CHARGE'.
Lorsque vous êtes prêt, tapez 'RETURN'.

Ajustez les potentiomètres 'UPPER LIMIT' et 'LOWER LIMIT' associés à 'LOAD' (localisés sur le 'LIMIT DETECTOR') en tenant compte de la charge maximale atteinte durant l'essai et mettez le bouton 'IND/INTLK/PROG' à la position 'INTLK'.

27. ***** Longueur de jauge à DEG.C ---

Coefficient de dilatation thermique --- / DEG.C

Section calculée de l'échantillon à DEG.C --- MM^2

28. Faites le zéro de l'extensomètre.
Lorsque vous êtes prêt, tapez 'RETURN'.

29. Ajustez le gain de 'DEFORMATION' pour obtenir une réponse optimale.
Lorsque vous êtes prêt, tapez 'RETURN'.

Ajustez le gain optimal à l'aide du bouton 'CONTROL GAIN 2'.

30. Ajustez le 'SETPOINT' à 500.
Lorsque vous êtes prêt, tapez 'RETURN'.

31. Desirez-vous faire suspendre l'acquisition de données (sleep) entre les boucles (O/N)?

Lorsque les essais sont effectués sur les deux stations (22 kips et 55 kips) simultanément, l'efficacité des routines d'acquisition de données est réduite considérablement. Dans le but d'alléger la tâche de l'ordinateur, des périodes de temps peuvent être introduites pendant lesquelles le programme suspend temporairement le contrôle de l'essai (durant la période de stabilisation de la contrainte). Ainsi, répondez 'O' à cette question si les deux stations doivent opérer parallèlement; autrement, entrez 'N'.

Si vous répondez 'O', le programme pose la question suivante:

32. Période de temps à suspendre (secondes)?

Indiquez une période de temps correspondant à un nombre de cycles de 100 à 1000.

Le programme imprime alors l'entête de l'essai.

**** ESSAI DE FATIGUE SIMPLE A HAUTE TEMPERATURE ****

Date:

1. Code du type d'essai ---
2. Matériau ---
3. Echantillon # ---
4. Extensomètre modèle # ---
5. Echelle de déformation --- %
6. Echelle de charge --- KN
7. Diamètre de l'échantillon --- MM
8. Longueur de jauge de l'extensomètre --- MM
9. Température ambiante --- DEG.C
10. Température de l'essai --- DEG.C
11. Taux de déformation --- %/SEC / fréquence de cyclage --- Hz
10. Amplitude de déformation à contrôler --- % / écart de déformation --- %

*L'échantillon sera cycle jusqu'à la rupture qui est définie à % de diminution de la contrainte stabilisée.

+++++ filière contenant les boucles d'hystérésis ---

***** longueur de jauge A: DEG.C --- MM

DEG.C --- MM

* Coefficient de dilatation thermique --- / DEG.C

* Section calculée à DEG.C --- MM^2

* Amplitude du signal --- volts.

* Position actuelle du piston --- volts.

33. Mettez les limites de:

- 'CHARGE' en tenant compte de la charge maximum atteinte
- 'DEFORMATION' en tenant compte de l'amplitude du signal
- 'DEPLACEMENT' en tenant compte de la position du piston

Lorsque vous êtes prêt, tapez 'RETURN' pour commencer le cyclage.

Ajustez les limites pour 'CHARGE', DEFORMATION' et 'DEPLACEMENT' tel qu'indiqué. Ensuite, tapez 'RETURN'.

Le programme commence alors le cyclage de l'échantillon.

4. ANALYSE DES RESULTATS

Deux programmes différents permettent d'analyser les données acquises au cours de l'essai et évaluer les propriétés caractéristiques du matériau décrites à la section 2. Le premier programme, HYSTER, permet de tracer toutes les boucles d'hystérésis enregistrées dans les filières tout au long de l'essai et calculer la déformation plastique associée à chaque boucle. Le deuxième programme, REPCON, permet de tracer les courbes de réponse en contrainte en fonction du nombre de cycles. Généralement, en examinant ces courbes on peut déterminer précisément la période de saturation de la contrainte, calculer la "demie-vie" (half-life) et

vérifier si ce paramètre correspond à la période de saturation. On évalue ensuite, à l'aide de la boucle d'hystérésis, la contrainte et la déformation plastique au nombre de cycles correspondant à la demi-vie. Il est à noter que les nombres de cycles à l'initiation de la fissure et à la rupture montrés par le programme au cours de l'essai ne sont que des valeurs indicatives, car le niveau de saturation sur lequel s'est basé le programme pour la détermination de ces paramètres ne peut pas être évalué avec exactitude pendant l'essai. Ils ne servent qu'à avertir l'opérateur que la rupture de l'échantillon est proche. La réponse cyclique des matériaux est généralement très irrégulière et par conséquent, il est important de réévaluer ces paramètres en analysant la courbe de réponse complète à la fin de l'essai: c'était donc l'objectif principal du programme REPCON.

4.1 Programme HYSTER

4.1.1 Description du programme

Ce programme lit les données conservées dana les filières, les convertit en des valeurs de contrainte et de déformation, calcule la déformation plastique et trace les boucles d'hystérésis. On peut tracer les boucles à l'aide de ce programme pendant même que l'essai est en marche. Cependant, il est à noter que le contenu d'une filière ne peut être lu que lorsque celle-ci est fermée (lorsque l'essai est en cours, un message est imprimé sur le terminal après qu'une filière soit remplie et fermée).

Les boucles peuvent être tracées:

- sur l'écran cathodique du terminal graphique (TEKTRONIX 4010) qui offre l'avantage d'un traçage très rapide;
- ou sur le traceur (TEKTRONIX 4662) qui offre une qualité supérieure de reproduction des graphiques.

A l'exception de la filière des 5 premiers cycles (filière # 0), on peut demander au programme de tracer n'importe qu'elle boucle contenue dans une filière donnée (accès non-séquentiel).

L'imprimé du programme HYSTER est donnée à l'annexe C.

4.1.2 Exécution du programme

Dans ce qui suit est décrite la procédure pour exécuter le programme HYSTER. Un exemple d'utilisation est donné à l'annexe C.

```
RUN HYSTER

 1. Entrez la commande désirée:
    1. Boucles d'hystérésis d'une filière
    2. Boucles d'hystérésis de  plusieurs filières

?
```

Répondez '1' si vous désirez tracer certaines boucles d'une filière donnée. Notez que, avec cette commande, le programme n'a accès qu'à une seule filière à la fois. Si vous voulez tracer les boucles d'une autre filière, vous pouvez le commander au programme à l'étape 20.

Répondez '2' si vous désirez tracer sur un seul graphique toutes les boucles contenues dans plusieurs filières numérotées consécutivement. Par exemple, vous pouvez tracer toutes les boucles des filières #1, 2 et 3 (fig. 5).

2. Désirez-vous avoir les valeurs maximum & minimum de contrainte et de déformation sur le graphique [O/N]?

   Répondez 'O' si vous désirez que les valeurs maximales et minimales de contrainte et de déformation apparaissent sur le graphique (fig. 6).

   Répondez 'N' dans le cas contraire (fig. 7). Le programme passe à l'étape 4.

3. Désirez-vous calculer la déformation plastique [O/N]?

   Répondez 'O' si vous désirez que la déformation plastique soit calculée et montrée sur le graphique.

   Répondez 'N' dans le cas contraire.

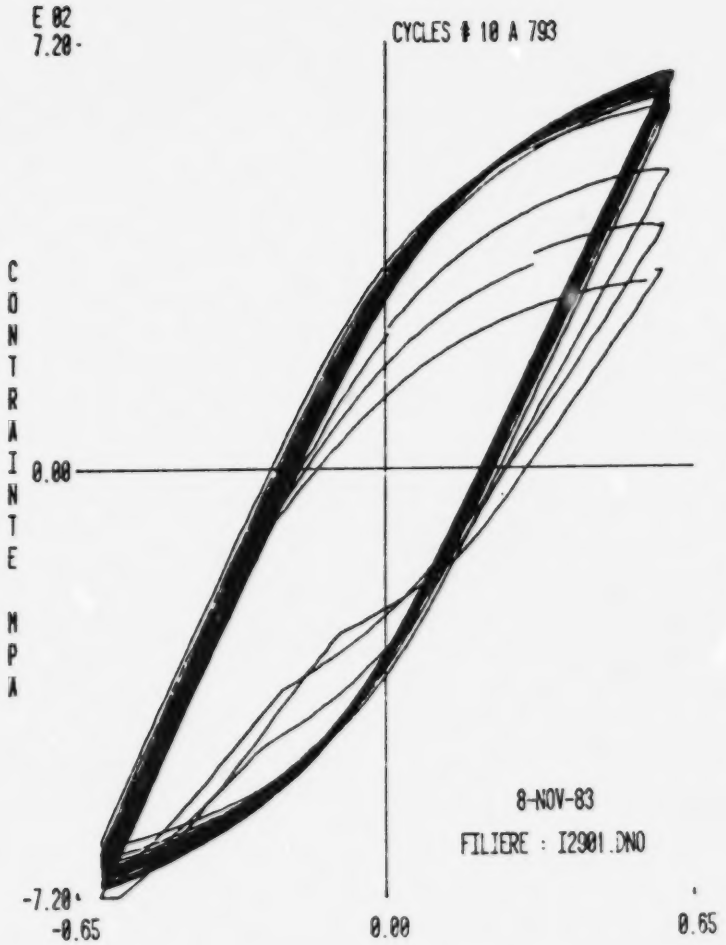


Fig. 5 Exemple d'un graphique montrant toutes les boucles d'hystérésis contenues dans plusieurs filières différentes.

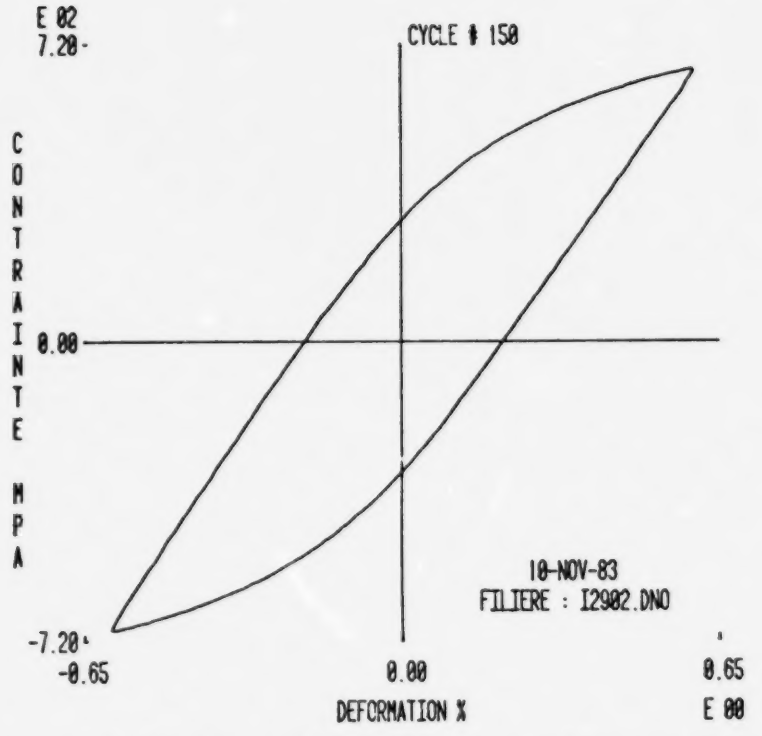


Fig. 6 Graphique d'une boucle d'hystérésis montrant toutes les valeurs de contrainte et de déformation associées à cette boucle .

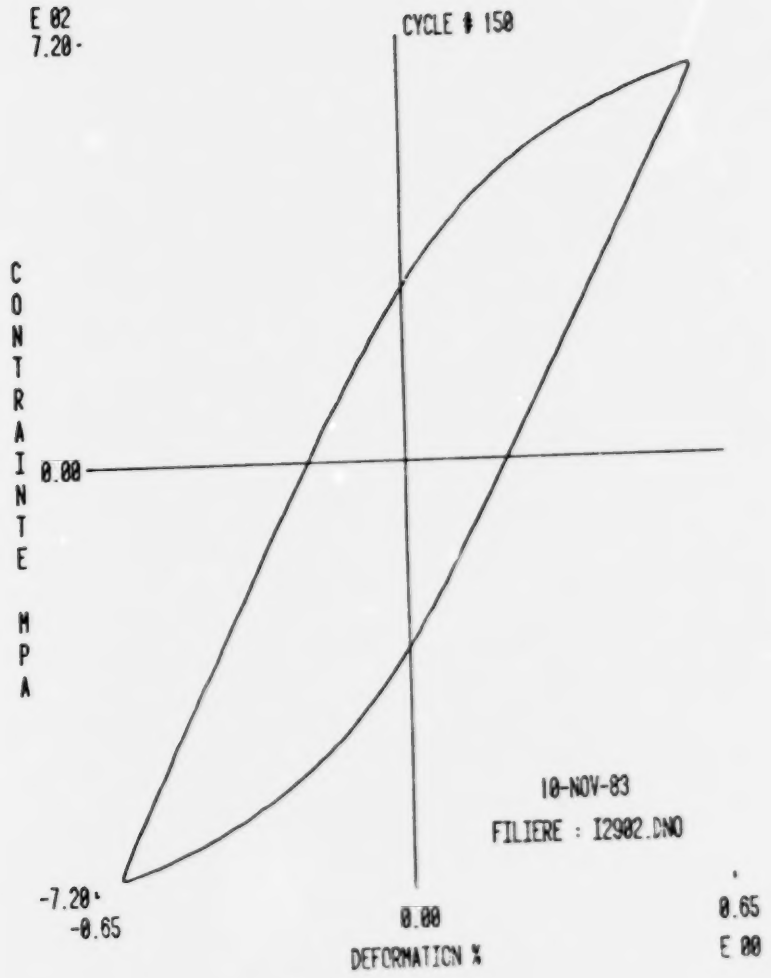


Fig. 7 Graphique d'une boucle d'hystérésis simple.

4. Entrez le nom principal des filières (sans numéro) et son extension. Exemple: X.DNF

   ?

   Entrez le nom commun des filières de données associées au présent essai et son extension.

   Si vous répondez '1' à l'étape 1, le programme passe à l'étape 5. Si vous répondez '2', le programme passe à l'étape 7.

5. Entrez le numéro de la filière dont vous voulez tracez les boucles. Exemple: 2

   ?

   Indiquez simplement le numéro de la filière qui contient les boucles que vous voulez tracer. Si vous entrez un nombre différent de zéro, la question suivante est posée:

6. Nombre de boucles contenues dans cette filière?

   Indiquez le nombre de boucles contenues dans cette filière (normalement 10, sauf la dernière filière). Le programme passe à l'étape 9.

7. Entrez les numéros de la première et de la dernière filière. Exemple: 0,9

   Entrez deux nombres séparés par une virgule correspondant aux numéros de la première et de la dernière filière dont vous voulez tracer les boucles. Par exemple, si vous voulez tracer toutes les boucles des filières #2, 3, 4 et 5, entrez ici: 2,5.

8. Nombre de boucles contenues dans la filière

   Indiquez le nombre de boucles contenues dans cette filière.

9. Les filières se trouvent dans le disque:

   1. DY0:

   2. DY1:

   3. DL:

   ?

   Entrez '1' si vos filières de données se trouvent sur l'unité de diskette # 0

   Entrez '2' si vos filières de données se trouvent sur l'unité de diskette #1

   Entrez '3' si vos filières de données se trouvent sur le disque rigide

10. Les courbes seront tracées sur:

    1. écran cathodique

    2. traceur

    ?

    Entrez '1' si vous désirez tracer vos boucles sur l'écran cathodique

    Entrez '2' si vous désirez tracer vos boucles sur le traceur

11. Les boucles seront superposées [O/N]?

Répondez 'O' si vous voulez tracer les boucles sur un même graphique superposées les unes sur les autres (fig. 8).

Répondez 'N' si vous voulez tracer une seule boucle sur chaque graphique. Si une boucle est actuellement tracée sur l'écran cathodique, elle sera effacée automatiquement lorsqu'une nouvelle boucle est tracée. Le programme passe à l'étape 13.

12. Les boucles seront tracées continuellement [O/N]?

Si vous répondez 'O', les boucles seront tracées automatiquement l'une après l'autre.

Si vous répondez 'N', vous devez entrer 'RETURN' après qu'une boucle soit tracée pour en commencer une autre.

Le programme passe à l'étape 15.

13. Déformation maximale (en %, 'RETURN' par défaut)?

Vous pouvez entrer une valeur (en %) pour définir les limites maximales et minimales de l'axe des X (déformation) ou entrez simplement 'RETURN'. Si vous entrez 'RETURN' le programme calcule automatiquement cette valeur.

14. Contrainte maximale (en MPa, 'RETURN' par défaut)?

Vous pouvez entrer une valeur (en MPa) pour définir les limites maximale et minimale de l'axe des Y (contrainte) ou entrez simplement 'RETURN'.

Si vous tapez 'RETURN', le programme calcule automatiquement cette valeur.

Si vous répondez '1' à l'étape 1 et vous entrez un nombre différent

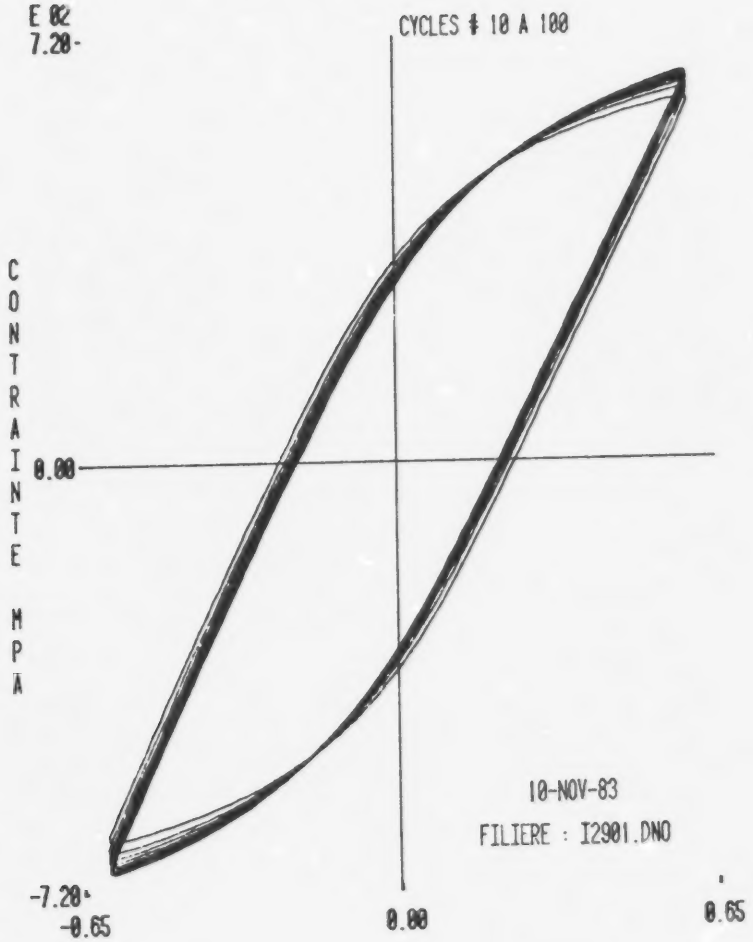


Fig. 8 Exemple d'un graphique montrant les boucles d'hystérésis aux différents cycles superposées.

de zéro à l'étape 5, le programme à l'étape 17. Autrement le programme commence à tracer les boucles d'hystérésis.

15. Déformation maximale (%)?

Entrez une valeur (en %) pour définir les limites maximale et minimale de l'axe des X (déformation).

16. Contrainte maximale (MPa)?

Entrez une valeur (en MPa) pour définir les limites maximale et minimale de l'axe des Y (contrainte).

Si vous entrez 'Ø' à l'étape 5, le programme commence alors à tracer successivement toutes les boucles des 5 premiers cycles. Si vous entrez un nombre différent de Ø à l'étape 5, le programme pose la question suivante:

17. Désirez-vous tracer la courbe à des cycles particuliers [O/N]?

Répondez 'O' si vous désirez tracer une boucle quelconque de la filière.

Répondez 'N' si vous désirez tracer de façon séquentielle les boucles de cette filière en commençant par la première.

Si vous répondez 'O', le programme imprime le tableau du type suivant:

BOUCLE #	CYCLES
1	150
2	200
3	251
4	300
5	350
6	400
7	451
8	500
9	550
10	586

18. Quelle boucle # sera tracée?

    Indiquez par un nombre de 1 à 10, la boucle que vous voulez tracer. Par exemple, si vous voulez tracer la boucle du cycle #550, entrez 9.

    Le programme trace alors la boucle spécifiée sur l'écran cathodique ou sur le traceur. Lorsque le traçage est terminé, le programme demande.

19. Désirez-vous continuer avec la présente filière [O/N]?

    Répondez'O' si vous désirez tracer une autre courbe de la présente filière. Le programme revient alors à l'étape 18. Répondez 'N' si vous désirez passer à une autre filière ou terminer le programme.

20. Désirez-vous tracer les courbes des autres filières [O/N]?

Répondez 'O' si vous désirez continuer à tracer les boucles des autres filières. Le programme revient alors à l'étape 5. Répondez 'N' si vous désirez terminer le programme.

Si vous répondez '2' à l'étape 1, le programme donne le message suivant lorsque toutes les boucles ont été tracées.

TRACAGE TERMINE . TAPER 'RETURN' POUR TERMINER.

Entrez alors 'RETURN' pour terminer le programme.

4.2 Programme REPCON

4.2.1 Description du programme

Généralement, ce programme est exécuté lorsque l'essai est complété pour tracer les courbes suivantes:

1. déformations maximale et minimale en fonction du nombre de cycles (fig. 9); ce graphique permet de vérifier si les limites de déformation ont été bien contrôlées durant l'essai;
2. contraintes maximale, minimale et moyenne en fonction du nombre de cycles (fig. 10); ce graphique permet d'établir précisément la période de saturation de la contrainte, le nombre de cycles correspondant à l'initiation de la fissure (changement de pentes) et celui correspondant à la rupture (sur la partie décroissante de la courbe);

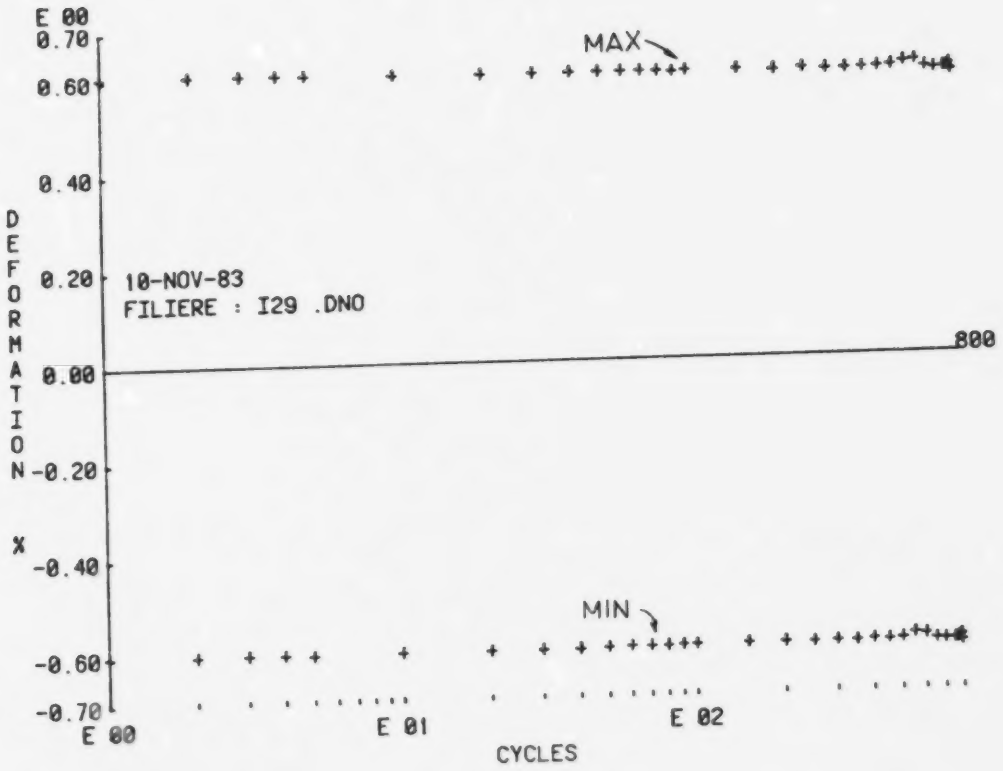


Fig. 9 Courbes des déformations maximale et minimale en fonction des nombres de cycles appliqués.

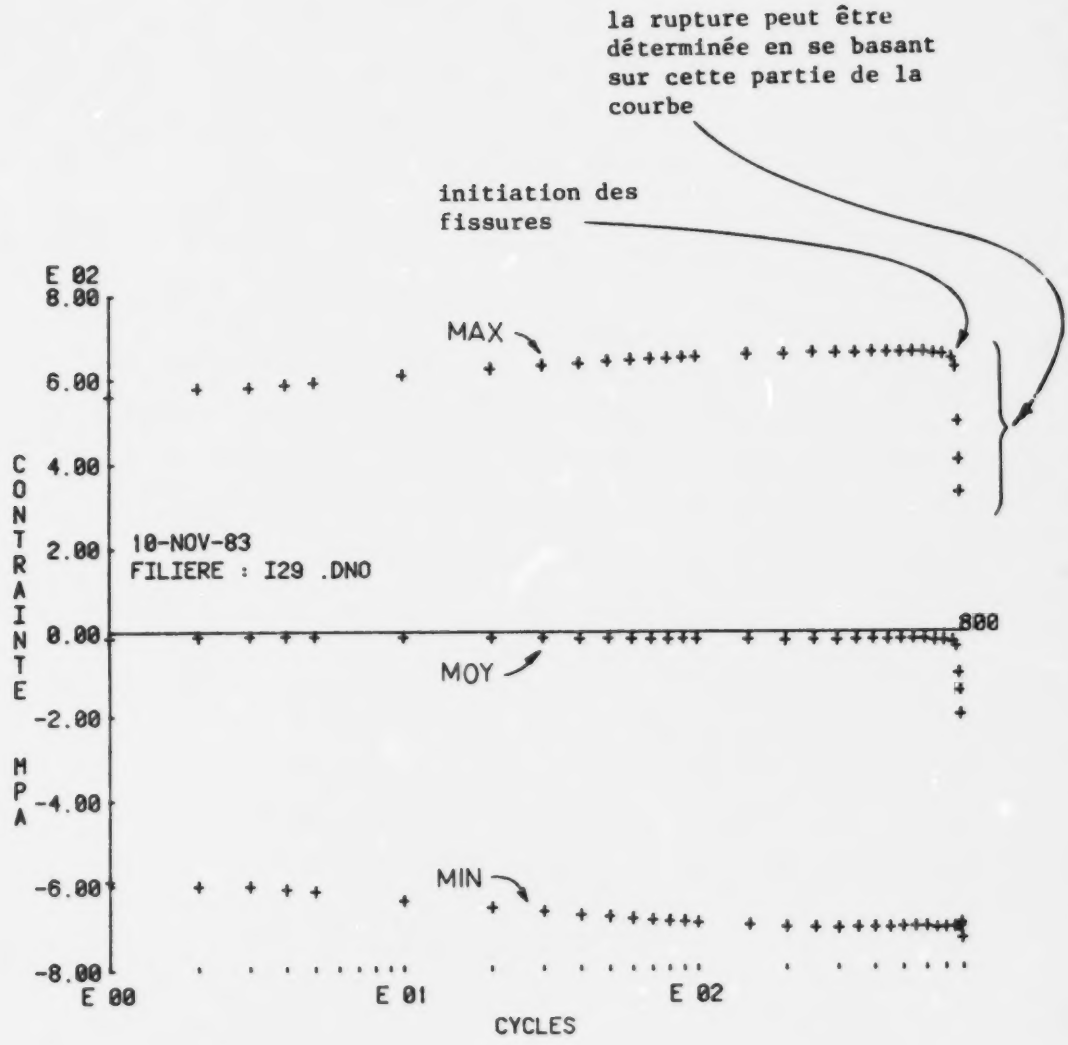


Fig. 10 Courbes des contraintes maximale, minimale et moyenne en fonction des nombres de cycles appliqués.

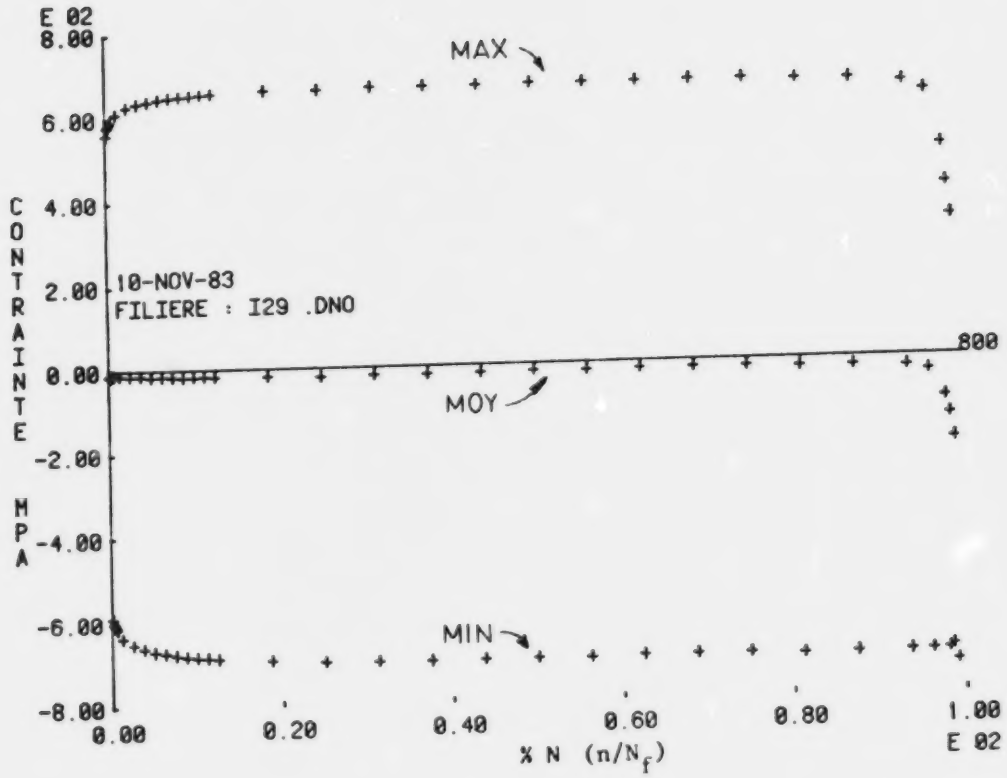


Fig. 11 Courbes des contraintes maximale, minimale et moyenne en fonction du rapport de cycles non-dimensionnel n/N_f (n = nombre de cycles appliqués, N_f = nombre de cycles à la rupture).

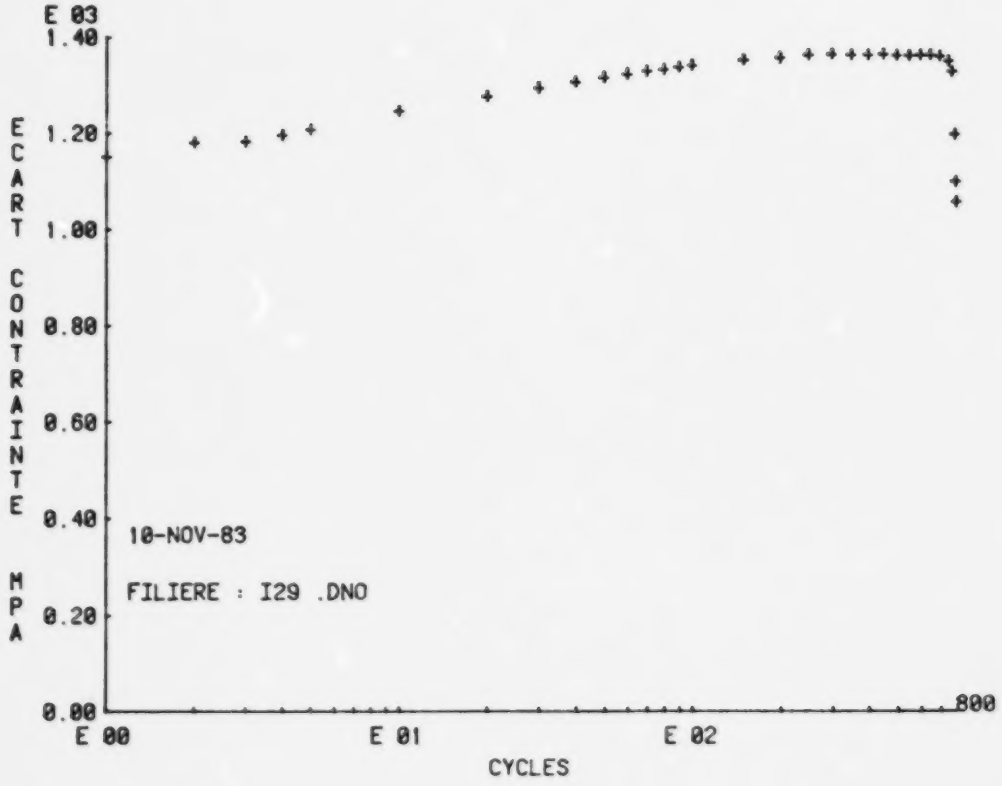


Fig. 12 Courbe de l'écart de contrainte ($\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$) en fonction des nombres de cycles appliqués.

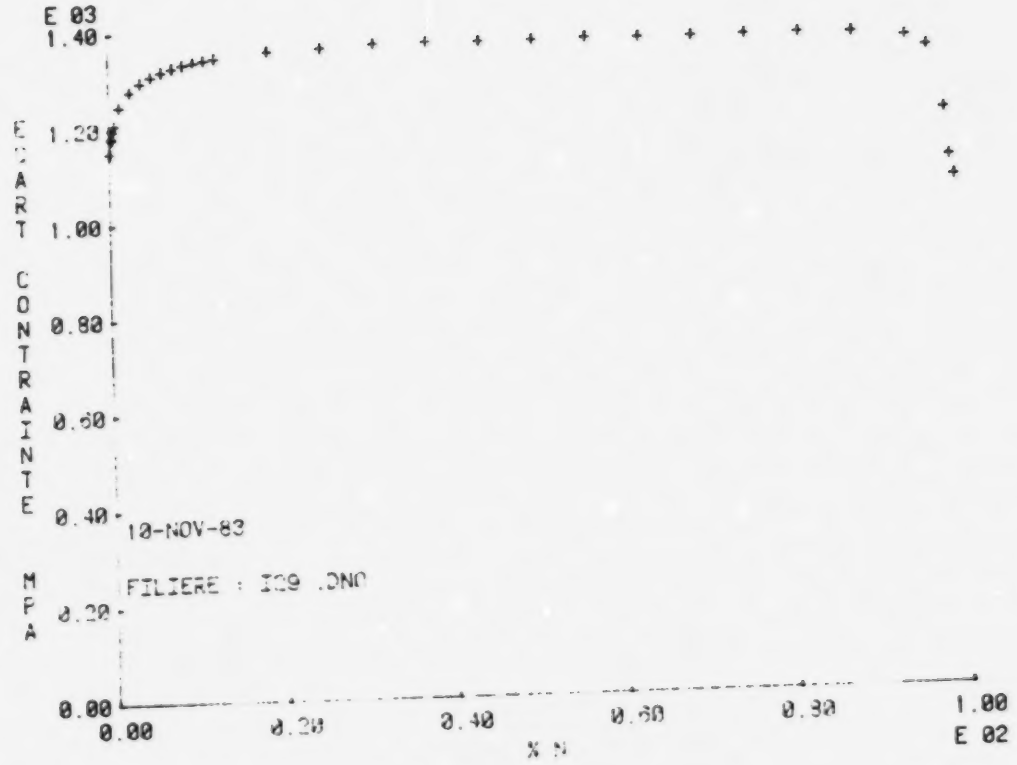


Fig. 13 Courbe de l'écart de contrainte ($\Delta\sigma$) en fonction du rapport de cycles non-dimensionnel n/N_f (n = nombre de cycles appliqués, N_f = nombre de cycles à la rupture).

FILIERE : I29 .DNG

CYCLES	E MAX %	E MIN %	E PLAST %	S MAX MPA	S MIN MPA	S MOY MPA
1	.607219	-.599349	.538806	561.37	-588.661	-13.6457
2	.606311	-.599652	.52476	579.185	-600.781	-10.8029
3	.606614	-.598441	.515726	581.459	-601.17	-9.85526
4	.606614	-.598743	.513787	588.472	-607.993	-9.76047
5	.606008	-.600862	.508856	593.968	-613.678	-9.85522
10	.602073	-.598743	.482673	611.404	-635.085	-11.8452
20	.60056	-.599349	.462091	626.377	-651.773	-12.6981
30	.600257	-.598441	.447742	634.716	-661.059	-13.1719
40	.601165	-.598743	.440717	639.454	-669.019	-14.7829
50	.60056	-.596927	.435145	644.381	-673.568	-14.5933
60	.600257	-.595716	.427795	647.603	-677.169	-14.7829
70	.60056	-.596322	.426567	649.309	-681.528	-16.1096
80	.599349	-.596625	.421496	651.015	-684.181	-16.5834
90	.597835	-.596019	.417663	653.857	-685.508	-15.8253
100	.599349	-.596019	.415137	654.995	-688.54	-16.7729
150	.599954	-.594506	.407283	661.059	-694.416	-16.6781
200	.59723	-.594203	.402863	660.87	-698.964	-19.0472
250	.599349	-.596019	.403471	665.039	-700.859	-17.91
300	.596927	-.594808	.398531	664.85	-702.376	-18.7629
350	.596322	-.596019	.398159	664.65	-700.859	-18.0048
400	.597835	-.593295	.400142	666.366	-700.291	-16.9624
450	.598138	-.595414	.399794	665.608	-701.618	-18.0048
500	.60056	-.592669	.401359	665.608	-699.722	-17.0572
550	.608127	-.583306	.400728	666.366	-699.154	-16.3939
600	.610549	-.585727	.403181	666.535	-698.964	-16.0148
650	.596927	-.595716	.40229	662.955	-703.134	-20.0896
700	.592992	-.596927	.405723	661.059	-702.186	-20.5634
750	.594506	-.596927	.411609	652.152	-701.428	-24.6382
770	.595414	-.595111	.41304	630.546	-700.67	-35.062
785	.60056	-.589662	.430586	500.912	-698.964	-99.0262
789	.589662	-.58936	.403621	410.13	-691.573	-140.722
793	.587241	-.601165	.378973	332.046	-727.014	-197.484

Fig. 14 Tableau des valeurs de contrainte et de déformation correspondant aux différents cycles.

3. contraintes maximale, minimale et moyenne en fonction du rapport de cycles non-dimensionnel n/N_f, n étant le nombre de cycles appliqués, N_f le nombre de cycles à la rupture (fig. 11);
4. écart de contrainte $(\sigma_{max}-\sigma_{min})$ en fonction du nombre de cycles (fig. 12); ce graphique offre la possibilité de définir le niveau de saturation et la rupture en se basant sur l'écart de contrainte plutôt que sur la contrainte maximale (certains auteurs ont proposé cette méthode);
5. écart de contrainte en fonction du rapport de cycles non-dimensionnel n/N_f (fig. 13).

On peut obtenir également un tableau indiquant les valeurs maximales et minimales de contrainte et de déformation correspondant à tous les cycles enregistrés (fig. 14).

L'imprimé du programme REPCON est donné à l'annexe D.

4.2.2 Exécution du programme

Run REPCON

1. Entrez la commande désirée:
   1. courbe déformation max & min vs # de cycles
   2. courbe contrainte max, min & moy vs # de cycles
   3. courbe contrainte max, min & moy vs % N
   4. courbe écart de contrainte vs # de cycles
   4. courbe écart de contrainte vs % N

Entrez le nombre correspondant à la courbe que vous voulez tracer (%N indique le rapport de cycles non-dimensionnel n/N_f).

2. Entrez le nom principal des filières (sans numéro) et son extension.

?

Entrez le nom commun des filières de données associées au présent essai et son extension.

3. Entrez les numéros de la première et de la dernière filière.

Exemple: 0,9

?

Entrez deux nombres séparés par une virgule correspondant aux numéros de la première filière (généralement 0, filière des 5 premiers cycles) et de la dernière filière créée avant la rupture de l'échantillon.

4. Nombre de boucles contenues dans la filière ' '?

Indiquez le nombre de boucles contenues dans cette filière.

5. Les filières se trouvent dans le disque:

1. DY0:

2. DY1:

3. DL:

?

Entrez '1' si vos filières de données se trouvent sur l'unité de diskette #0

Entrez '2' si vos filières de données se trouvent sur l'unité de diskette #1

Entrez '3' si vos filières de données se trouvent sur le disque rigide

6. Désirez-vous ajouter d'autres points [O/N]?

   Durant l'essai, vous avez probablement envoyé une ou plusieurs fois à l'ordinateur la commande 'ESC''I' pour lui demander de montrer les valeurs maximales et minimales de contrainte et de déformation à certains nombres de cycles. Si vous désirez ajouter ces points supplémentaires aux données déjà enregistrées dans les filières et les tracer sur les courbes, vous pouvez le faire en répondant 'O' à cette question. Continuez avec l'étape 7. Si vous n'avez pas de points supplémentaires à ajouter ou si vous ne voulez pas les tracer, répondez 'N'. Continuez avec l'étape 9.

7. Nombre de points que vous voulez entrer?

   Indiquez le nombre de points supplémentaires que vous voulez ajouter (chaque nombre de cycles correspond à un point).

8. Entrez les paramètres dans l'ordre: cycle #, E max (%), E min (%), S max (MPa), S min (MPa)

Pour chaque point, entrez les 5 valeurs, séparées par des virgules et dans l'ordre indiqué, désignant le nombre de cycles, la déformation maximale (en %), la déformation minimale (en %), la contrainte maximale (en MPa) et la contrainte minimale (en MPa). Faites suivre chaque groupe de 5 valeurs par un 'RETURN'. Continuez ainsi pour tous les points.

9. Désirez-vous imprimer les valeurs des paramètres et # de cycles [O/N]?

   Répondez 'O' si vous désirez obtenir un tableau qui montre les valeurs maximales et minimales de contrainte et de déformation correspondant aux nombres de cycles (fig. 14). Répondez 'N' dans le cas contraire.

10. La courbe sera tracée sur:

    1. écran cathodique

    2. traceur

    Entrez '1' si vous voulez tracer les courbes sur l'écran cathodique

    Entrez '2' si vous voulez tracer les courbes sur le traceur.

11. # de cycles maximal ('RETURN' par défaut)?

    Entrez une valeur pour définir la limite maximale de l'axe des X (nombre de cycles) ou entrez simplement 'RETURN'. Si vous entrez 'RETURN', le programme calcule automatiquement cette valeur.

Si vous répondez '1' à l'étape 1, le programme passe à l'étape 12. Si vous répondez '2', le programme passe à l'étape 13. Si vous répondez '3', le programme passe à l'étape 14.

12. Déformation % ('RETURN' par défaut)?

Entrez une valeur (en %) pour définir les limites maximale et minimale de l'axe des Y (déformation) ou entrez simplement 'RETURN'. Si vous entrez 'RETURN', le programme calcule automatiquement cette valeur.

13. Contrainte MPa ('RETURN' par défaut)?

Entrez une valeur (en MPa) pour définir les limites maximale et minimale de l'axe des Y (contrainte) ou entrez simplement 'RETURN'. Si vous entrez 'RETURN', le programme calcule automatiquement cette valeur.

14. Ecart contrainte MPa ('RETURN' par défaut)?

Entrez une valeur (en MPa) pour définir la limite maximale de l'axe des Y (écart de contrainte) ou entrez simplement 'RETURN'. Si vous entrez 'RETURN', le programme calcule automatiquement cette valeur.

15. Le programme trace les courbes que vous avez spécifiées à l'étape 1.

Si vous demandez de tracer les courbes sur l'écran cathodique, le programme passe à l'étape 16 lorsqu'elles sont complétées.

Si vous demandez de tracer les courbes sur le traceur, le programme passe à l'étape 17 lorsqu'elles sont complétées.

16. Tracer la courbe sur table traçante [O/N]?

Répondez 'O' si vous désirez tracer sur le traceur les courbes qui apparaissent sur l'écran cathodique. Répondez 'N' dans le cas contraire.

17. Désirez-vous tracer les autres courbes [O/N]?

Répondez 'O' si vous désirez continuer à tracer les autres courbes. Le programme revient alors à l'étape 1 et passe ensuite à l'étape 10 en sautant les étapes 2 à 9.

Répondez 'N' si vous désirez terminer le programme.

Annexe A

Equipements et procédure expérimentale

A.1 Equipements

Les installations expérimentales de l'IGM utilisées pour les essais de fatigue à haute température comprennent les équipements suivants:

- système servo-hydraulique
- unité de chauffage
- contrôles et indicateurs MTS
- interfaces MTS
- miniordinateur
- terminal imprimant
- terminal graphique
- traceur digital

Le système servo-hydraulique comprend typiquement un bâti MTS de 55 Kips et l'actuateur actionné par une pompe hydraulique. L'unité de chauffage est une fournaise MTS à trois zones contrôlée par un contrôleur de température. Le miniordinateur est un DEC PDP 11/23 de 64 K de mémoire supporté une unité de disque rigide (hard disk) et deux unités de diskettes (floppy disk). Le terminal imprimant est un 'DEC LA 38' sur lequel les programmes sont excutés pour le contrôle de l'essai. Le terminal graphique est un 'TEKTRONIX 4010' sur lequel peuvent être exécutés les programmes et tracés les graphiques. Le traceur digital est un 'TEKTRONIX 4662'.

Pour l'opération et l'entretien de ces équipements, l'usager est référé aux différents manuels de référence de MTS, DEC, TEKTRONIX et RESEARCH Inc.

A.2 Extensomètre

La mesure et le contrôle de la déformation de l'éprouvette sont faits à l'aide d'un extensomètre axial à haute température de MTS (fig. 15). Ce type d'extensomètre comporte typiquement un pont de jauges de déformation logé dans un boitier, une paire de tiges en quartz (on en céramique) et des câbles de connexion. Lorsque l'extensomètre est installé, son boitier reste à l'extérieur de la fournaise, tandis que ses deux tiges en quartz sont posées sur l'échantillon, donc à l'intérieur. L'extrémité de ces tiges en contact avec l'éprouvette peut être de forme conique ou en forme de V. Les tiges de forme conique sont typiquement utilisées pour le contrôle des niveaux de déformation relativement élevés afin de prévenir leur glissement; une paire de marques coniques de 0.15 mm de profondeur doivent être faites sur la surface de l'échantillon dans ce cas et par conséquent, le matériau testé ne doit pas être très sensible à l'effet d'entaille. Les tiges en forme de V sont préférables lorsque le niveau de déformation à contrôler est relativement faible ($\Delta\varepsilon < 2\%$).

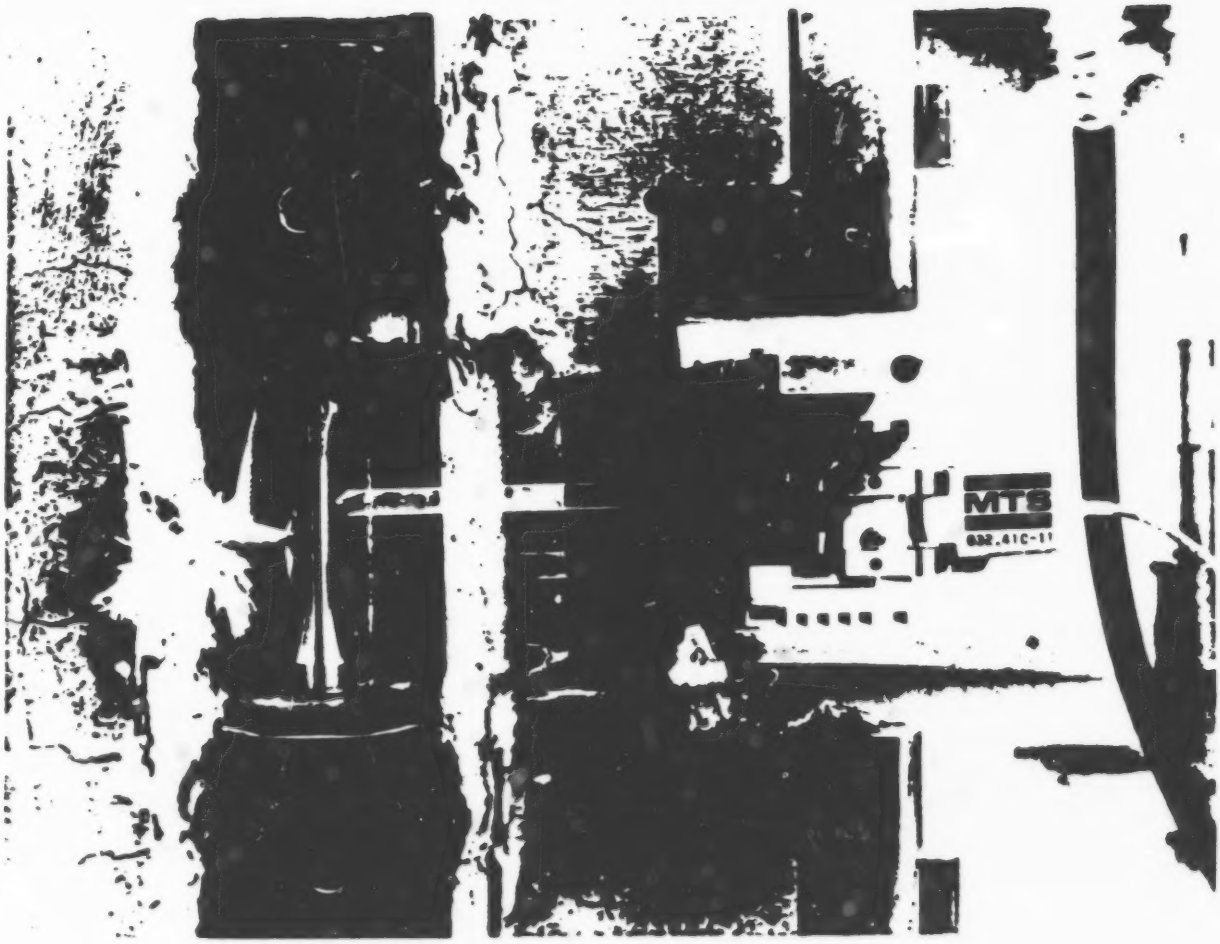


Fig. 15 Photo illustrant l'échantillon et l'extensomètre utilisés pour l'essai de fatigue à haute température.

A.3 Echantillon

Typiquement, un échantillon cyclindrique de 6.35 mm de diamètre et 25 mm de longueur utile (fig. 15 et 16) recommandé par l'ASTM (E606 - "Recommended Practice for Constant Amplitude Low Cycle Fatigue Testing") est utilisé pour ce type d'essai. Avec ce type d'échantillon, le niveau de déformation à contrôler est généralement limité par le flambage. Pour certains matériaux, par exemple l'Inconel 625, nous avons dû réduire la longueur utile à 15 mm en maintenant le même diamètre afin de prévenir le flambage de l'éprouvette.

A.4 Procédure expérimentale

La procédure expérimentale comporte les opérations suivantes:

1) calibration des instruments

2) installation de l'échantillon

3) exécution du programme FATHT 1

4) chauffage

La photo de la figure 17 illustre le montage de l'essai. Comme l'étape 3 a déjà été décrite à la section 3.4, seulement les étapes 1, 2 et 4 seront discutées dans ce qui suit.

A.4.1 Calibration des instruments

Avant de monter l'échantillon, vous devez ajuster (ou vérifier) le zéro de la cellule de charge avec le mors (grip) supérieur en place. Vous devez également ajuster le zéro de l'extensomètre à l'aide de la jauge fournie avec chaque modèle. Généralement, il

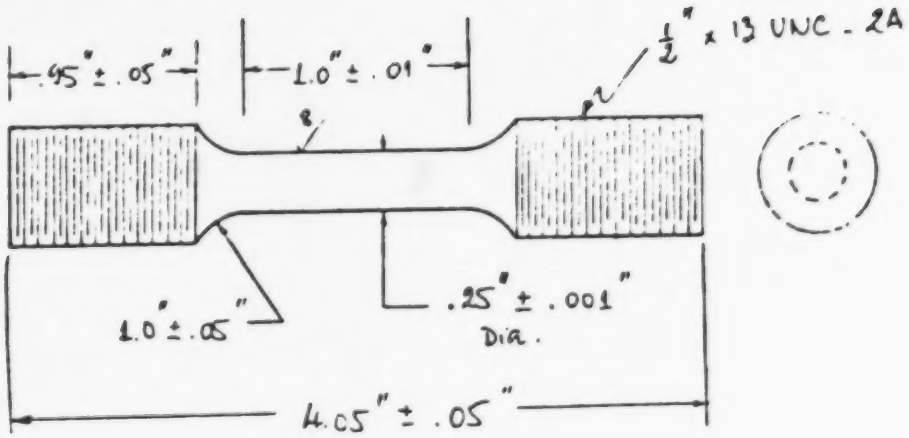


Fig. 16 Echantillon cylindrique pour l'essai de fatigue oligo-cyclique.

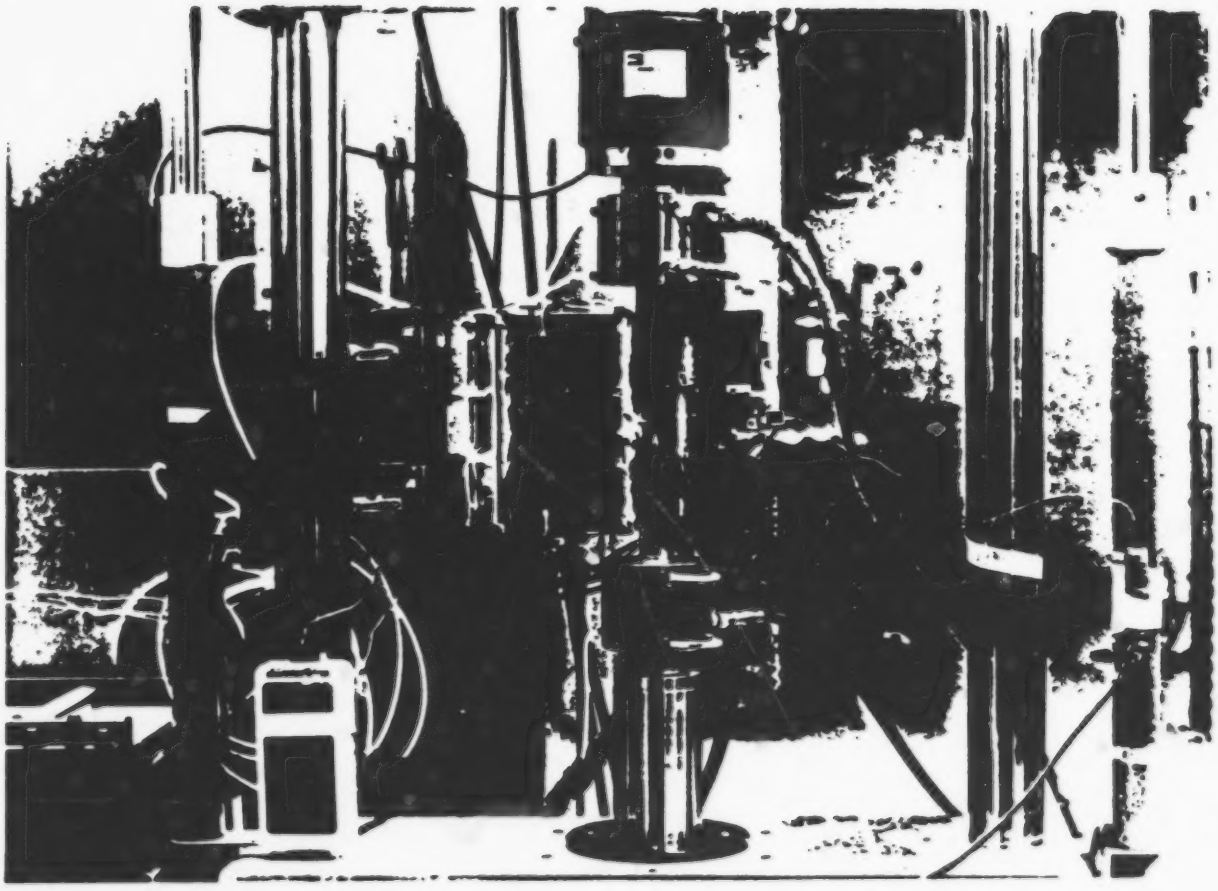


Fig. 17 Photo du montage de l'essai de fatigue à haute température.

suffit de faire cet ajustement une seule fois lorsqu'on change de modèle d'extensomètre en notant la valeur affichée au potentiomètre 'ZERO' du 'D.C. CONDITIONER' associée à 'STRAIN' (il ne faut pas omettre de changer la carte de calibration lorsqu'on change de modèle d'extensomètre). Par la suite, ajustez le zéro de l'extensomètre en affichant la même valeur au potentiomètre 'ZERO'. Il est à noter que, pour chaque essai à haute température, on ajuste le zéro de l'extensomètre deux fois: la première fois lorsqu'on installe l'échantillon, la seconde lorsque la température est atteinte, avant de commencer le cyclage.

A.4.2 Installation de l'échantillon

Une description détaillée et complète de la procédure pour installer l'échantillon sur la machine est donnée dans le manuel 'MTS Reference Manual', section 'High Temperature Furnace'. Après avoir installé l'échantillon en suivant cette procédure, fixez la fournaise en place et installez l'extensomètre. Si les tiges de forme conique sont utilisées, elles doivent être bien logées sur les deux marques faites antérieurement sur l'éprouvette; si celles en forme de V sont utilisées, elles doivent être bien placées sur la longueur utile de l'éprouvette et leur écartement doit être ajusté de façon à obtenir un voltage nul à la lecture de 'STRAIN'. Fermez ensuite la fournaise et faites fonctionner les systèmes de refroidissement pour les mors et l'extensomètre.

A.4.3 Chauffage

Vous pouvez opérer le contrôleur de température pour le chauffage de l'échantillon en vous référant aux manuels 'MTS Reference Manual', section 'High Temperature Control Panel', et 'Research Inc. Process Temperature and Power Controller Instruction Manual'. Par expérience, il est suggéré de faire monter la température en deux étapes afin de prévenir des flammes à l'intérieur de la fournaise causées par l'oxydation de la pâte anti-grippage. Par exemple, commencez par faire monter la température à 300°C, attendez que la fumée produite par l'oxydation soit réduite avant de continuer à augmenter la température à la valeur désirée.

Annexe B

Imprimés des programmes FATHT 1 et FATHT 2

```
FATHT1  10-NOV-83  MTS 773 MU BASIC V01.07L

100 REM            PROGRAMME  FATHT1  (FATIGUE A HAUTE TEMPERATURE
110 REM                                DEFORMATION CONTROLEE)
120 A=SYS(6,78) \ FGIMMED(1,"R", TIME 1,0)
130 COMMON N(40),C$,M$,S$,F1$,A1,D0,D9,E0,E1,E2,E3,G1,L1,N0,S0,T5,T6,Y1,Y2,Y4
140 PRINT "LORSQUE L'ESSAI EST DEJA COMMENCE, VOUS POUVEZ ENTRER:" \ PRINT
150 PRINT "    - 'ESC''I' POUR FAIRE IMPRIMER LES CONTRAINTES ET DEFORMATIONS";
160 PRINT " MAX & MIN" \ PRINT
170 PRINT "    - 'ESC''C' POUR CORRIGER L'AMPLITUDE ET/OU LA VALEUR";
172 PRINT " MOYENNE DU SIGNAL" \ PRINT
180 PRINT "    - 'ESC''S' POUR ARRETER L'ESSAI " \ PRINT
185 PRINT "    - 'ESC''B' POUR ENREGISTRER LA BOUCLE D'UN CYCLE." \ PRINT
190 REM
200 REM    ***  ENTREE DES PARAMETRES  ***
210 REM
220 PRINT  \ PRINT "SPECIFIEZ LES PARAMETRES SUIVANTS :"
230 PRINT  \ PRINT "1. CODE DU TYPE D'ESSAI "; \ INPUT C$
240 PRINT  \ PRINT "2. NOM DU MATERIAU "; \ INPUT M$
250 PRINT  \ PRINT "3. ECHANTILLON # "; \ INPUT S$
255 PRINT  \ PRINT "4. EXTENSOMETRE MODELE # "; \ INPUT E$
256 PRINT  \ PRINT "5. ECHELLE DE DEFORMATION (%) "; \ INPUT E1
257 PRINT  \ PRINT "6. ECHELLE DE CHARGE (KN) "; \ INPUT L1
260 PRINT  \ PRINT "7. DIAMETRE DE L'ECHANTILLON (MM) "; \ INPUT D0
280 PRINT  \ PRINT "8. LONGUEUR DE JAUGE DE L'EXTENSOMETRE (MM) "; \ INPUT G0
290 PRINT  \ PRINT "9. TEMPERATURE AMBIANTE (DEG.C) "; \ INPUT U0
300 PRINT  \ PRINT "10. TEMPERATURE DE L'ESSAI (DEG.C) "; \ INPUT U1
310 PRINT  \ PRINT "11. TAUX DE DEFORMATION (%/SEC) "; \ INPUT E2
330 PRINT  \ PRINT "12. AMPLITUDE DE DEFORMATION A CONTROLER (%) "; \ INPUT E0
390 PRINT  \ PRINT "13. L'ECHANTILLON SERA CYCLE :" \ PRINT
400 PRINT "     1. A LA RUPTURE" \ PRINT "     2. A UN NOMBRE DE CYCLES ";
410 PRINT "LIMITE" \ PRINT  \ INPUT Y1
420 IF Y1<>1 THEN 430 \ GO TO 460
430 IF Y1<>2 THEN 390
440 PRINT  \ PRINT "13A. NOMBRE DE CYCLES A APPLIQUER "; \ INPUT N0
450 IF N0<=0 THEN 440 \ N0=INT(N0) \ GO TO 540
460 PRINT  \ PRINT "13A. LA RUPTURE EST DEFINIE A QUEL POURCENTAGE DE ";
470 PRINT "DIMINUTION DE LA CONTRAINTE"
480 PRINT "     STABILISEE (>10% - TYPIQUE: 60%) "; \ INPUT Y2
490 IF Y2<=0 THEN 460 \ IF Y2>90 THEN 460
540 PRINT  \ PRINT "14. NOM DE LA FILIERE POUR CONSERVER LES BOUCLES";
550 PRINT " D'HYSTERESIS (BASE SUR #" \ PRINT "    D'ECHANTILLON ET MAXIMUM 4";
560 PRINT " CARACTERES)"; \ INPUT F1$
570 IF LEN(F1$)>4 THEN 580 \ GO TO 590
580 PRINT  \ PRINT "MAXIMUM 4 CARACTERES SVP !" \ GO TO 540
590 FOR I=1 TO 3 \ PRINT  \ NEXT I
600 PRINT "VERIFIEZ SI LES PARAMETRES FOURNIS SONT CORRECTS :" \ PRINT
610 GOSUB 3030
620 PRINT  \ PRINT "TOUS LES PARAMETRES SONT CORRECTS [O/N] "; \ INPUT Y$
630 IF Y$<>"O" THEN 640 \ GO TO 1030
640 IF Y$<>"N" THEN 620 \ PRINT  \ PRINT "RENTREZ DE NOUVEAU LES PARAMETRES"
650 GO TO 230
```

```
1000 REM
1010 REM   ***  PREPARATION DE L'ESSAI  ***
1020 REM
1030 PRINT  \ PRINT "VERIFIEZ SI LA LUMIERE PROTECTRICE DU DISQUE EST ETEINTE."
1040 PRINT "LORSQUE VOUS ETES PRET, TAPEZ 'RETURN'." \ PRINT  \ A=SYS(4)
1050 FGIMMED(1,"R", TIME 1,0)
1060 PRINT  \ PRINT "VERIFIEZ SI LE 'FEEDBACK SELECTOR' EST EN MODE 'REMOTE'. "
1070 PRINT "TOURNEZ 'SPAN 1' A  10. LORSQUE VOUS ETES PRET, TAPEZ 'RETURN'."
1080 PRINT  \ A=SYS(4) \ FGIMMED(1,"R", TIME .5,0) \ MSWFG(1,0)
1090 PRINT  \ PRINT "AVEZ-VOUS FAIT LE ZERO DE L'EXTENSOMETRE A L'AIDE DE LA";
1100 PRINT " JAUGE AVANT DE LE" \ PRINT "MONTER ?"
1110 PRINT "SI OUI, TAPEZ 'RETURN'." \ PRINT  \ A=SYS(4)
1120 IMMED(2,G3) \ G3=G3*E1*G0/100+G0
1130 PRINT "*****  LONGUEUR DE JAUGE DE L'ECHANTILLON A TEMPERATURE AMBIANTE";
1140 PRINT " ---"G3;"MM"
1150 PRINT  \ PRINT "METTEZ LA PRESSION HYDRAULIGUE A 'HIGH'."
1160 PRINT "LORSGUE VOUS ETES PRET, TAPEZ 'RETURN'." \ PRINT  \ A=SYS(4)
1170 PRINT  \ PRINT "***  IMPORTANT  ***  ACTIONNEZ LA POMPE MANUELLE POUR ";
1180 PRINT "AVOIR LA PRESSION" \ PRINT "CORRESPONDANT A LA CHARGE MAXIMALE";
1190 PRINT " ATTEINTE DURANT L'ESSAI."
1200 PRINT "LORSGUE VOUS ETES PRET, TAPEZ 'RETURN'." \ PRINT  \ A=SYS(4)
1210 PRINT "ASSUREZ-VOUS GUE L'EAU DE REFROIDISSEMENT POUR LES MORS";
1220 PRINT " ET L'AIR (OU L'EAU)" \ PRINT "POUR L'EXTENSOMETRE SOIENT BIEN APPLI
GUES."
1230 PRINT "LORSGUE VOUS ETES PRET, TAPEZ 'RETURN'." \ PRINT  \ A=SYS(4)
1240 PRINT  \ PRINT "COMMENCEZ A CHAUFFER L'ECHANTILLON JUSQU'A";U1;"DEG.C. ";
1250 PRINT "L'EPROUVETTE SERA" \ PRINT "MAINTENUE A CHARGE NULLE DURANT LE";
1260 PRINT " CHAUFFAGE. LORSGUE LA TEMPERATURE EST" \ PRINT "STABILISEE,";
1270 PRINT " TAPEZ 'RETURN'." \ PRINT  \ GTIME(H1,H2,H3)
1280 PRINT "HEURE DEBUT CHAUFFAGE : "STR$(H3)":"STR$(H2)":"STR$(H1)
1290 A=SYS(4) \ GTIME(H1,H2,H3) \ PRINT
1300 PRINT "HEURE FIN CHAUFFAGE : "STR$(H3)":"STR$(H2)":"STR$(H1) \ PRINT
1310 PRINT  \ PRINT "METTEZ LES LIMITES DE 'CHARGE'."
1320 PRINT "LORSGUE VOUS ETES PRET, TAPEZ 'RETURN'." \ PRINT  \ A=SYS(4)
1330 IMMED(2,G1) \ G1=G1*E1*G0/100+G0
1340 PRINT  \ PRINT "*****  LONGUEUR DE JAUGE A";U1;"DEG.C ---";G1;"MM"
1350 U2=(G1-G3)/(G3*(U1-U0))
1360 PRINT  \ PRINT "COEFFICIENT DE DILATATION THERMIGUE ---"U2;"/DEG.C"
1370 A0=PI*D0^2/4 \ A1=A0*(1+U2*(U1-U0))^2 \ REM  SECTION EN MM CARRE
1380 PRINT  \ PRINT "SECTION CALCULEE DE L'ECHANTILLON A";U1;"DEG.C ---"A1;"MM^2
"
1390 PRINT  \ PRINT "FAITES LE ZERO DE L'EXTENSOMETRE."
1400 PRINT "LORSGUE VOUS ETES PRET, TAPEZ 'RETURN'." \ PRINT  \ A=SYS(4)
1410 FGIMMED(1,"R", TIME .5,0) \ MSWFG(1,1)
1415 PRINT  \ PRINT "AJUSTEZ LE GAIN DE 'DEFORMATION' POUR OBTENIR UNE";
1416 PRINT " REPONSE OPTIMALE." \ PRINT "LORSGUE VOUS ETES PRET, TAPEZ 'RETURN'.
"
1417 A=SYS(4)
1420 PRINT  \ PRINT "AJUSTEZ LE 'SETPOINT' A 500."
1430 PRINT "LORSGUE VOUS ETES PRET, TAPEZ 'RETURN'." \ A=SYS(4)
1440 PRINT  \ PRINT "DESIREZ-VOUS FAIRE SUSPENDRE L'ACQUISITION DE DONNEES (SLEE
P) ENTRE LES BOUCLES (O/N)";
1450 INPUT Y$ \ IF Y$<>"N" THEN 1460 \ Y4=0 \ GO TO 1490
1460 PRINT  \ PRINT "PERIODE DE TEMPS A SUSPENDRE (SECONDES)"; \ INPUT Y4
1490 PRINT CHR$(12) \ FOR I=1 TO 78 \ PRINT "*"; \ NEXT I
1500 PRINT  \ PRINT TAB(10)"*****  ESSAI DE FATIGUE SIMPLE A HAUTE TEMPERATURE
*****"
1510 GTIME \ PRINT  \ PRINT  \ PRINT "DATE : "DAT$ \ PRINT  \ PRINT
1520 GOSUB 3030
1530 PRINT  \ PRINT "  *****  LONGUEUR DE JAUGE A :   ";U0;"DEG.C ---";G3;"MM"
```

```
1535 PRINT TAB(33)U1;"DEG.C ---";G1;"MM" \ PRINT
1536 PRINT "* COEFICIENT DE DILATATION THERMIQUE ---"U2;"/DEG.C"
1537 PRINT "* SECTION CALCULEE A";U1;"DEG.C ---"A1;"MM^2"
1540 PRINT  \ PRINT
2000 REM
2010 REM   ***  INITIALISATION DES PARAMETRES  ***
2020 REM
2030 I2=1 \ FOR I=1 TO 9 \ N(I2)=I*10 \ I2=I2+1 \ NEXT I
2040 FOR I=1 TO 9.5 STEP .5 \ N(I2)=I*100 \ I2=I2+1 \ NEXT I
2050 FOR I=1 TO 13 \ N(I2)=I*500+500 \ I2=I2+1 \ NEXT I
2060 D9=INT(D0*(1+U2*(U1-U0))*1000) \ REM DIAMETRE A HAUTE T EN MICRONS
2070 S0=L1/A1*1000 \ REM  CONTRAINTE UNITAIRE EN MPA
2080 G1=INT(G1*1000) \ REM  LONGUEUR DE JAUGE EN MICRONS
2090 E0=E0*10 \ REM  DEFORMATION A CONTROLER EN POURMILLE
2100 E1=INT(E1*G0*10) \ REM  ECHELLE DE DEFORMATION EN MICRONS
2110 E2=E2*10 \ REM  TAUX DE DEFORMATION EN POURMILLE/SEC
2120 E3=E1/G1*1000 \ REM  DEFORMATION UNITAIRE EN POURMILLE
2130 L1=INT(L1)
2140 T5=4*E0/(169*E2) \ REM   169 POINTS PAR BOUCLE
2150 IF T5<2.00000E-03 THEN T5=2.00000E-03
2160 T6=E2/E3 \ REM  'RATE' UTILISE DANS FG (VOLT/SEC)
2170 CHAIN "FATHT2"
3000 REM
3010 REM   ***  SOUROUTINE POUR IMPRIMER L'ENTETE  ***
3020 REM
3030 PRINT "1. CODE DU TYPE D'ESSAI --- ";C$
3040 PRINT "2. MATERIAU --- ";M$
3050 PRINT "3. ECHANTILLON # --- ";S$
3055 PRINT "4. EXTENSOMETRE MODELE # --- ";E$
3056 PRINT "5. ECHELLE DE DEFORMATION ---"E1;"%"
3057 PRINT "6. ECHELLE DE CHARGE ---"L1;"KN"
3060 PRINT "7. DIAMETRE DE L'ECHANTILLON ---"D0;"MM"
3070 PRINT "8. LONGUEUR DE JAUGE DE L'EXTENSOMETRE ---"G0;"MM"
3080 PRINT "9. TEMPERATURE AMBIANTE ---"U0;"DEG.C"
3090 PRINT "10. TEMPERATURE DE L'ESSAI ---"U1;"DEG.C"
3100 PRINT "11. TAUX DE DEFORMATION ---"E2;"%/SEC";
3110 PRINT " / FREQUENCE DE CYCLAGE ---"E2/(4*E0);"HZ"
3120 PRINT "10. AMPLITUDE DE DEFORMATION A CONTROLER ---"E0;"%";
3130 PRINT " / ECART DE DEFORMATION ---"E0*2;"%"
3160 ON Y1 GO TO 3170,3200
3170 PRINT "* L'ECHANTILLON SERA CYCLE JUSQU'A LA RUPTURE QUI EST DEFINIE A";
3180 PRINT Y2;"% DE" \ PRINT "DIMINUTION DE LA CONTRAINTE STABILISEE."
3181 GO TO 3210
3200 PRINT "* L'ECHANTILLON SERA CYCLE POUR";NO;"CYCLES."
3210 PRINT  \ PRINT "  +++++ FILIERE CONTENANT LES BOUCLES D'HYSTERESIS  ---  ";
F1$&" .DN"&C$
3220 RETURN
```

```
FATHT2  10-NOV-83  MTS 773 MU BASIC V01.07L

1000 REM                          PROGRAMME  FATHT2
1020 DIM X(2,0),M0(2,1),M1(1,1),M2(2,1),P1(10,2),D(850,2)
1030 KBINT("C",2, LINE 5030 ) \ KBINT("B",3, LINE 2050 )
1040 KBINT("S",7, LINE 8000 ) \ KBINT("I",1, LINE 7610 ) \ KBENB
1050 REM
1060 REM    *** INITIALISATION DES VARIABLES ***
1070 REM
1080 REM    INITIALISATION DES FLAGS
1090 J0=5 \ REM    POUR IMPRIMER LES DONNEES
1100 J1=500 \ REM POUR N
1105 J2=0 \ REM    POUR CONTRAINTE STABILISEE
1110 J3=1 \ REM    POUR CONTRAINTE STABILISEE
1120 J4=0 \ REM    POUR CONTRAINTE STABILISEE
1130 J5=10 \ REM    POUR CONTRAINTE STABILISEE
1150 K0=0 \ REM    POUR SOUROUTINE VERIFICATION INITIATION FISSURES
1160 K1=1 \ REM    POUR TABLEAU N
1170 K2=0 \ REM    POUR FILIERE #
1180 K3=0 \ REM    POUR # DE PASSES
1190 K4=1 \ REM    POUR # DE BOUCLES DANS CHAGUE FILIERE
1200 K5=0 \ REM    POUR RUPTURE DE L'ECHANTILLON
1210 K6=0 \ REM    POUR FILIERE #0 & DERNIERE FILIERE
1220 X(1,0)=1 \ X(2,0)=-1 \ X3=E0/E3 \ REM  'SPAN' IMPOSE
1240 IMMED(3,X1) \ PRINT "* AMPLITUDE DU SIGNAL --- ";X3*10;"VOLTS." \ PRINT
1242 PRINT "* POSITION ACTUELLE DU PISTON --- ";X1*10;"VOLTS."
1244 PRINT  \ PRINT "METTEZ LES LIMITES DE :" \ PRINT  \ PRINT "    - 'CHARGE'";
1245 PRINT " EN TENANT COMPTE DE LA CHARGE MAX ATTEINTE" \ PRINT
1246 PRINT "    - 'DEFORMATION' EN TENANT COMPTE DE L'AMPLITUDE DU SIGNAL" \ PRIN
T
1247 PRINT "    - 'DEPLACEMENT' EN TENANT COMPTE DE LA POSITION DU PISTON"
1248 PRINT  \ PRINT "LORSQUE VOUS ETES PRET, TAPEZ 'RETURN' POUR COMMENCER";
1249 PRINT " LE CYCLAGE." \ PRINT  \ A=SYS(4)
1250 FGARB(1,"R", RATE T6, ARRAY X,,32767)
1260 FGARB(1,"R", RATE T6, ARRAY X,,32767) \ TIMED(1,D,,2,1,1)
1270 PKVAL(2,P1,,2,.05,1)
1280 GTIME(H1,H2,H3) \ PRINT  \ PRINT
1290 PRINT "HEURE : "STR$(H3)":"STR$(H2)":"STR$(H1) \ PRINT CHR$(7)
1300 CKTIME(1,T5) \ FGSEGMENTS(1) \ FGCYCLES(1) \ FGSSCALE(1,1,X3,0)
1310 REM
1320 REM    ***  ACQ. DES BOUCLES DES 5 PREMIERS CYCLES  ***
1330 REM
1340 FGGO(1) \ ADINIT \ ADGO(1,2)
1440 IF D<850 THEN 1440
1450 ADSTOP \ GOSUB 7030 \ GOSUB 7050
1460 OPEN F1$&"00.DN"&C$ FOR OUTPUT AS FILE #1, FILESIZE 10
1470 AOUT(1,D(0,0),,0,) \ CLOSE #1 \ K2=1 \ K6=1
```

FATHT2

```
1480 REM
1490 REM   ***  CONTROLE EN TEMPS REEL  ***
1500 REM
1510 IF K2<10 THEN F2$="0"&STR$(K2) \ GO TO 1515
1512 F2$=STR$(K2)
1515 OPEN F1$&F2$&".DN"&C$ FOR OUTPUT AS FILE #1, FILESIZE 20
1520 IF K1<=40 THEN 1540 \ Z=N(40) \ FOR I=1 TO 40 \ N(I)=I*J1+Z \ NEXT I
1530 K1=1 \ J0=0
1540 IF K4<=19 THEN 1570 \ CLOSE #1 \ FOR I=1 TO 3 \ PRINT  \ NEXT I
1550 PRINT TAB(12)"+++++ LA FILIERE  '";F1$&F2$&".DN"&C$;"'  A ETE REMPLIE +++++
"
1560 FOR I=1 TO 3 \ PRINT  \ NEXT I \ K2=K2+1 \ K4=1 \ GO TO 1510
1570 FGSEGMENTS(1,C2) \ IF C2<N(K1)*2-3 THEN 1590 \ GOSUB 2050
1590 IF J2=0 THEN 1520 \ IF J4=0 THEN 1597 \ IF K5=1 THEN 1620
1595 ETIME \ SLEEP(Y4)
1597 GOSUB 7210
1600 GOSUB 4030
1610 GOSUB 3030
1620 FGSTATUS(1,F) \ IF F>1 THEN 1630 \ FGARB(1,"R", RATE T6, ARRAY X,,32767)
1630 FGCYCLES(1,C1) \ IF C1>32767*(K3+1) THEN K3=K3+1
1650 IF K5=1 THEN 1660 \ GO TO 1520
1660 GOSUB 7210 \ IF ELEVEL(M1(1,1))<(1-Y2/100)*M3 THEN 1680
1670 GO TO 1520
1680 FGCYCLES(1,N9) \ GO TO 8200
2000 REM
2010 REM   ***  ENREGISTREMENT DES BOUCLES  ***
2020 REM
2050 TIMED(1,D,,2,1,1) \ D=INT(0)
2060 IF X<>1 THEN 2060
2070 ADINIT \ ADTRIGGER(1,0,1) \ ADGO(1)
2080 IF D<170 THEN 2080
2090 ADSTOP \ FGCYCLES(1,C1) \ GOSUB 7810 \ GOSUB 7030 \ GOSUB 7090 \ AOUT(1,D(0
,0),,K4-1,)
2095 IF J4=1 THEN 2100 \ IF K1<5 THEN 2110
2100 GOSUB 6030
2110 IF J4=1 THEN 2160
2120 IF K1=J0 THEN M3=ELEVEL(S5) \ J2=1
2130 IF K1<J0 THEN 2160 \ IF K1>J5 THEN 2150
2140 M3=(M3*(J3-1)+ELEVEL(S5))/J3 \ J3=J3+1 \ PRINT "M3=";M3*S0 \ GO TO 2160
2150 J4=1 \ FOR I=1 TO 3 \ PRINT  \ NEXT I \ PRINT TAB(23)"CONTRAINTE";
2152 PRINT " STABILISEE --- ";M3*S0;"MPA"
2160 K1=K1+1 \ K4=K4+2 \ RETURN
3000 REM
3010 REM   ***  VERIFICATION DE LA RUPTURE  ***
3020 REM
3030 IF K0=1 THEN 3040 \ RETURN
3040 IF K5=0 THEN 3050 \ RETURN
3050 IF ELEVEL(M1(1,1))<.9*M3 THEN 3070
3060 IF ELEVEL(M1(1,1))>1.5*M3 THEN 3070 \ RETURN
3070 FGCYCLES(1,C1) \ PRINT
3075 PRINT "***** LA CONTRAINTE MAX A BAISSE DE 10% DE LA";
3080 PRINT " CONTRAINTE STABILISEE A" \ PRINT C1;"CYCLES *****"
3084 PRINT  \ PRINT "CONTRAINTE ---";ELEVEL(M1(1,1))*S0;"MPA",
3086 PRINT "CONTRAINTE STABILISEE ---";M3*S0;"MPA"
3090 K5=1 \ J1=10 \ FGCYCLES(1,Z) \ FOR I=1 TO 40 \ N(I)=(I-1)*J1+Z \ NEXT I
3100 K1=1 \ RETURN
```

FATHT2

```
4000 REM
4010 REM    ***  VERIFICATION DE L'INITIATION DES FISSURES  ***
4020 REM
4030 ON Y1 GO TO 4040,4120
4040 IF K0=1 THEN RETURN
4050 IF ELEVEL(M1(1,1))<.95*M3 THEN 4070
4060 IF ELEVEL(M1(1,1))>1.3*M3 THEN 4070 \ RETURN
4070 FGCYCLES(1,N8) \ FOR I=1 TO 4 \ PRINT  \ NEXT I
4090 PRINT TAB(15)"****** FISSURES INITIEES A";N8;"CYCLES ******"
4092 PRINT  \ PRINT "CONTRAINTE ---";ELEVEL(M1(1,1))*S0;"MPA",
4094 PRINT "CONTRAINTE STABILISEE ---";M3*S0;"MPA"
4100 FOR I=1 TO 4 \ PRINT  \ NEXT I
4110 K0=1 \ RETURN
4120 IF C1<N0 THEN RETURN
4130 FGCYCLES(1,N6) \ GO TO 8200
5000 REM
5010 REM    ***  SOUROUTINE POUR AJUSTEMENT DE 'SPAN' & 'SETPOINT'  ***
5020 REM
5030 FGGSCALE(1,1,S1,S2) \ GOSUB 7410 \ P=(M5-M6)/2 \ T=(M5+M6)/2
5040 IF P<X3+1.00000E-03 THEN IF P>X3-1.00000E-03 THEN 5060
5050 S1=S1-P+X3 \ FGSSCALE(1,1,S1,)
5060 IF T<1.00000E-03 THEN IF T>-1.00000E-03 THEN 5080
5070 S2=S2-T \ FGSSCALE(1,1,,S2) \ GO TO 5030
5080 PRINT "SPAN & SETPOINT AJUSTES." \ FGGSCALE(1,1,S1,S2)
5090 T5=4*S1*E3/(169*E2) \ CKTIME(1,T5)
5092 PRINT "SPAN=";S1;"SETPOINT=";S2;"P=";P;"T=";T
5100 CKTIME(1,,T4) \ PRINT "CLOCK =";T4 \ RETURN
6000 REM
6010 REM    ***  IMPRIMER LES VALEURS MAX. & MIN. ***
6020 REM
6030 PRINT  \ FOR I=1 TO 78 \ PRINT "-"; \ NEXT I
6040 PRINT  \ PRINT "N =";C1;"CYCLES" \ PRINT
6050 PRINT "DEF. MAX =";ELEVEL(E5)*E3/10;"%","DEF. MIN =";ELEVEL(E6)*E3/10;"%"
6060 PRINT "CONT. MAX =";ELEVEL(S5)*S0;"MPA","CONT. MIN =";ELEVEL(S6)*S0;"MPA"
6070 FOR I=1 TO 78 \ PRINT "-"; \ NEXT I \ PRINT  \ RETURN
7000 REM
7010 REM    ***  SOUROUTINES POUR REMPLIR COLONNE # O DU TABLEAU D  ***
7020 REM
7030 D(0,0)=INT(3) \ D(1,0)=E1 \ D(2,0)=L1 \ D(3,0)=INT(K3)
7040 D(4,0)=INT(C1-K3*32767) \ D(5,0)=D9 \ D(6,0)=G1 \ D(29,0)=INT(T5*100000)
7045 RETURN
7050 I0=0 \ FOR I=1 TO 10 STEP 2
7060 D(I+I0+6,0)=P1(I,1) \ D(I+I0+7,0)=P1(I+1,1)
7070 D(I+I0+8,0)=P1(I,2) \ D(I+I0+9,0)=P1(I+1,2)
7080 I0=I0+2 \ NEXT I \ RETURN
7090 D(7,0)=E5 \ D(8,0)=E6 \ D(9,0)=S5 \ D(10,0)=S6 \ RETURN
7200 REM    ***  SOUROUTINE POUR CHERCHER CONTRAINTE MAX. ***
7210 MAX(2,M1,,1,180) \ M1=INT(0) \ ADINIT \ ADGO(2)
7220 IF M1<1 THEN 7220
7230 ADSTOP \ RETURN
7400 REM    ***  SOUROUTINE POUR CHERCHER DEFORMATION MAX. ***
7410 MAX(3,M0,,2,180) \ MIN(4,M2,,2,180) \ M0=INT(0) \ M2=INT(0) \ ADINIT \ ADGO
(3,4)
7420 IF M0<2 THEN 7420
7425 IF M2<2 THEN 7425
7430 ADSTOP \ M5=ELEVEL(M0(2,1)) \ M6=ELEVEL(M2(2,1)) \ RETURN
7600 REM    ***  SOUROUTINE POUR 'ESC' 'I'  ***
7610 TIMED(4,D,,2,1,1) \ D=INT(0) \ ADINIT \ ADGO(4)
7620 IF D<170 THEN 7620
7630 FGCYCLES(1,C1) \ GOSUB 7610 \ GOSUB 6030 \ RETURN
```

FATHT2

```
7800 REM   ***  SOUROUTINE POUR CALCULER MAX. & MIN.  ***
7810 E5=D(1,1) \ E6=D(1,1) \ S5=D(1,2) \ S6=D(1,2) \ FOR I1=1 TO 169
7820 IF D(I1,1)>E5 THEN E5=D(I1,1)
7830 IF D(I1,1)<E6 THEN E6=D(I1,1)
7840 IF D(I1,2)>S5 THEN S5=D(I1,2)
7850 IF D(I1,2)<S6 THEN S6=D(I1,2)
7860 NEXT I1 \ RETURN
8000 REM
8010 FGCYCLES(1,N7) \ Y1=3
8200 CLOSE #1
8210 FGIMMED(1,"R", TIME .5,0) \ FGSTOP \ ADSTOP
8220 GTIME(H1,H2,H3) \ PRINT  \ PRINT
8230 PRINT "DATE : "DAT$,"HEURE : "STR$(H3)":"STR$(H2)":"STR$(H1)
8235 IF Y1=3 THEN PRINT "L'ESSAI EST INTERROMPU A";N7;"CYCLES." \ GO TO 8270
8240 PRINT  \ PRINT "***** L'ECHANTILLON EST RUPTURE A";N9;"CYCLES *****"
8250 PRINT  \ PRINT "CONTRAINTE A LA RUPTURE ---";ELEVEL(M1(1,1))*S0;"MPA"
8260 PRINT  \ PRINT "CONTRAINTE STABILISEE ---";M3*S0;"MPA"
8270 PRINT  \ PRINT "* ";K2+1;"FILIERES ONT ETE REMPLIES."
8280 PRINT  \ PRINT "*  LA DERNIERE FILIERE '";F1$&F2$&".DN"&C$;
8285 PRINT "' CONTIENT SEULEMENT";(K4+1)/2-1;"BOUCLES."
8300 END
```

```
RUN FATHT1

LORSQUE L'ESSAI EST DEJA COMMENCE, VOUS POUVEZ ENTRER:

   - 'ESC''I' POUR FAIRE IMPRIMER LES CONTRAINTES ET DEFORMATIONS MAX & MIN

   - 'ESC''C' POUR CORRIGER L'AMPLITUDE ET/OU LA VALEUR MOYENNE DU SIGNAL

   - 'ESC''S' POUR ARRETER L'ESSAI

   - 'ESC''B' POUR ENREGISTRER LA BOUCLE D'UN CYCLE.

SPECIFIEZ LES PARAMETRES SUIVANTS :

1. CODE DU TYPE D'ESSAI ? 0

2. NOM DU MATERIAU ? IN625

3. ECHANTILLON # ? 29

4. EXTENSOMETRE MODELE # ? 632.41C-11 SER 3:8

5. ECHELLE DE DEFORMATION (%) ? 2.5

6. ECHELLE DE CHARGE (KN) ? 50

7. DIAMETRE DE L'ECHANTILLON (MM) ? 6.35

8. LONGUEUR DE JAUGE DE L'EXTENSOMETRE (MM) ? 12

9. TEMPERATURE AMBIANTE (DEG.C) ? 26

10. TEMPERATURE DE L'ESSAI (DEG.C) ? 650

11. TAUX DE DEFORMATION (%/SEC) ? 1

12. AMPLITUDE DE DEFORMATION A CONTROLER (%) ? .6

13. L'ECHANTILLON SERA CYCLE :

     1. A LA RUPTURE
     2. A UN NOMBRE DE CYCLES LIMITE

? 1

13A. LA RUPTURE EST DEFINIE A QUEL POURCENTAGE DE DIMINUTION DE LA CONTRAINTE
     STABILISEE (>10% - TYPIQUE: 50%) ? 50

14. NOM DE LA FILIERE POUR CONSERVER LES BOUCLES D'HYSTERESIS (BASE SUR #
    D'ECHANTILLON ET MAXIMUM 4 CARACTERES)? I29
```

VERIFIEZ SI LES PARAMETRES FOURNIS SONT CORRECTS :

1. CODE DU TYPE D'ESSAI --- 0
2. MATERIAU --- IN625
3. ECHANTILLON # --- 29
4. EXTENSOMETRE MODELE # --- 632.41C-11 SER 318
5. ECHELLE DE DEFORMATION --- 2.5 %
6. ECHELLE DE CHARGE --- 50 KN
7. DIAMETRE DE L'ECHANTILLON --- 6.35 MM
8. LONGUEUR DE JAUGE DE L'EXTENSOMETRE --- 12 MM
9. TEMPERATURE AMBIANTE --- 26 DEG.C
10. TEMPERATURE DE L'ESSAI --- 650 DEG.C
11. TAUX DE DEFORMATION --- 1 %/SEC / FREQUENCE DE CYCLAGE --- .416667 HZ
10. AMPLITUDE DE DEFORMATION A CONTROLER --- .6 % / ECART DE DEFORMATION --- 1.2 %

* L'ECHANTILLON SERA CYCLE JUSQU'A LA RUPTURE QUI EST DEFINIE A 60 % DE DIMINUTION DE LA CONTRAINTE STABILISEE.

+++++ FILIERE CONTENANT LES BOUCLES D'HYSTERESIS --- I29 .DNO

TOUS LES PARAMETRES SONT CORRECTS [O/N] ? O

VERIFIEZ SI LA LUMIERE PROTECTRICE DU DISQUE EST ETEINTE.
LORSQUE VOUS ETES PRET, TAPEZ 'RETURN'.

VERIFIEZ SI LE 'FEEDBACK SELECTOR' EST EN MODE 'REMOTE'.
TOURNEZ 'SPAN 1' A 10. LORSQUE VOUS ETES PRET, TAPEZ 'RETURN'.

AVEZ-VOUS FAIT LE ZERO DE L'EXTENSOMETRE A L'AIDE DE LA JAUGE AVANT DE LE MONTER ?
SI OUI, TAPEZ 'RETURN'.

***** LONGUEUR DE JAUGE DE L'ECHANTILLON A TEMPERATURE AMBIANTE --- 12.0003 MM

METTEZ LA PRESSION HYDRAULIQUE A 'HIGH'.
LORSQUE VOUS ETES PRET, TAPEZ 'RETURN'.

*** IMPORTANT *** ACTIONNEZ LA POMPE MANUELLE POUR AVOIR LA PRESSION CORRESPONDANT A LA CHARGE MAXIMALE ATTEINTE DURANT L'ESSAI.
LORSQUE VOUS ETES PRET, TAPEZ 'RETURN'.

ASSUREZ-VOUS QUE L'EAU DE REFROIDISSEMENT POUR LES MORS ET L'AIR (OU L'EAU) POUR L'EXTENSOMETRE SOIENT BIEN APPLIQUES.
LORSQUE VOUS ETES PRET, TAPEZ 'RETURN'.

COMMENCEZ A CHAUFFER L'ECHANTILLON JUSQU'A 650 DEG.C. L'EPROUVETTE SERA MAINTENUE A CHARGE NULLE DURANT LE CHAUFFAGE. LORSQUE LA TEMPERATURE EST STABILISEE, TAPEZ 'RETURN'.

HEURE DEBUT CHAUFFAGE : 13:34:19

HEURE FIN CHAUFFAGE : 14:57:24

METTEZ LES LIMITES DE 'CHARGE'.
LORSQUE VOUS ETES PRET, TAPEZ 'RETURN'.

***** LONGUEUR DE JAUGE A 650 DEG.C --- 12.1045 MM

COEFFICIENT DE DILATATION THERMIQUE --- 1.39115E-05 /DEG.C

SECTION CALCULEE DE L'ECHANTILLON A 650 DEG.C --- 32.2218 MM^2

FAITES LE ZERO DE L'EXTENSOMETRE.
LORSQUE VOUS ETES PRET, TAPEZ 'RETURN'.

AJUSTEZ LE GAIN DE 'DEFORMATION' POUR OBTENIR UNE REPONSE OPTIMALE.
LORSQUE VOUS ETES PRET, TAPEZ 'RETURN'.

AJUSTEZ LE 'SETPOINT' A 500.
LORSQUE VOUS ETES PRET, TAPEZ 'RETURN'.

DESIREZ-VOUS FAIRE SUSPENDRE L'ACQUISITION DE DONNEES (SLEEP) ENTRE LES BOUCLE
S (O/N)? O

PERIODE DE TEMPS A SUSPENDRE (SECONDES)? 100

```
**********************************************************************************
          *****  ESSAI DE FATIGUE SIMPLE A HAUTE TEMPERATURE  *****

DATE :  6-NOV-83

1. CODE DU TYPE D'ESSAI --- 0
2. MATERIAU --- IN625
3. ECHANTILLON # --- 29
4. EXTENSOMETRE MODELE # --- 632.41C-11 SER 318
5. ECHELLE DE DEFORMATION --- 2.5 %
6. ECHELLE DE CHARGE --- 50 KN
7. DIAMETRE DE L'ECHANTILLON --- 6.35 MM
8. LONGUEUR DE JAUGE DE L'EXTENSOMETRE --- 12 MM
9. TEMPERATURE AMBIANTE --- 26 DEG.C
10. TEMPERATURE DE L'ESSAI --- 650 DEG.C
11. TAUX DE DEFORMATION --- 1 %/SEC / FREQUENCE DE CYCLAGE --- .416667 HZ
10. AMPLITUDE DE DEFORMATION A CONTROLER --- .6 % / ECART DE DEFORMATION ---
 1.2 %
* L'ECHANTILLON SERA CYCLE JUSQU'A LA RUPTURE QUI EST DEFINIE A 60 % DE
DIMINUTION DE LA CONTRAINTE STABILISEE.

  +++++ FILIERE CONTENANT LES BOUCLES D'HYSTERESIS  ---  I29 .DNO

  *****  LONGUEUR DE JAUGE A :     26 DEG.C --- 12.0003 MM
                                   650 DEG.C --- 12.1045 MM

* COEFICIENT DE DILATATION THERMIQUE --- 1.39115E-05 /DEG.C
* SECTION CALCULEE A 650 DEG.C --- 32.2218 MM^2


* AMPLITUDE DU SIGNAL ---  2.4208 VOLTS.

* POSITION ACTUELLE DU PISTON ---  2.13605 VOLTS.

METTEZ LES LIMITES DE :

   - 'CHARGE' EN TENANT COMPTE DE LA CHARGE MAX ATTEINTE

   - 'DEFORMATION' EN TENANT COMPTE DE L'AMPLITUDE DU SIGNAL

   - 'DEPLACEMENT' EN TENANT COMPTE DE LA POSITION DU PISTON

LORSQUE VOUS ETES PRET, TAPEZ 'RETURN' POUR COMMENCER LE CYCLAGE.
```

Annexe C

Imprimé du programme HYSTER

```
HYSTER  10-NOV-83  MTS 773 MU BASIC V01.07L

100 REM                          PROGRAMME  HYSTER  (FATIGUE SIMPLE)
110 DIM D(850,2),C(170,3),S(25)
120 REM   INITIALISATION DES FLAGS
130 REM   J4,J5,J7,J9 ---
140 REM   K0 --- POUR TRACEUSE
150 REM   K1 --- POUR BOUCLES SUPERPOSEES
160 REM   K3 --- POUR # DE PASSES
170 REM   K4 --- POUR BLOC DE DONNEES DANS D
180 REM   K5 --- POUR LIGNE # DANS D (VALEURS DE PKVAL)
190 REM   K6 --- POUR BLOC # DANS LA FILIERE
200 REM   K7 --- POUR BOUCLES A DES CYCLES PARTICULIERS
210 J5=0 \ J9=0 \ K0=0 \ K1=0 \ K4=0 \ K5=7 \ K6=1 \ K7=2 \ Y0$="N"
212 Y0$="N" \ Y1$="0" \ Y3$="0" \ Y5$="N" \ Y6$="\" \ M1$=""
215 J5$="N" \ J6$="N"
220 PRINT CHR$(7) \ PRINT
250 PRINT "ENTREZ LA COMMANDE DESIREE :" \ PRINT
260 PRINT "1. BOUCLES D'HYSTERESIS D'UNE FILIERE"
280 PRINT "2. BOUCLES D'HYSTERESIS DE PLUSIEURS FILIERES" \ PRINT  \ INPUT J4
282 PRINT  \ PRINT "DESIREZ-VOUS AVOIR LES VALEURS MAX & MIN DE CONTRAINTE ET";
283 PRINT " DE DEFORMATION" \ PRINT "SUR LE GRAPHIQUE [O/N]"; \ INPUT Y6$
284 IF Y6$="O" THEN J5=30
285 IF J4=2 THEN 290
286 PRINT  \ PRINT "DESIREZ-VOUS CALCULER LA DEFORMATION PLASTIQUE [O/N]"; \ INP
UT Y5$
290 PRINT  \ PRINT "ENTREZ LE NOM PRINCIPAL DES FILIERES (SANS NUMERO) ET";
300 PRINT " SON EXTENSION." \ PRINT "EXEMPLE : X.DNF" \ PRINT  \ INPUT F1$
310 P=POS(F1$,".",1) \ B1$=SEG$(F1$,1,P-1) \ B2$=SEG$(F1$,P,12)
320 B3$=B1$&" "&B2$
330 ON J4 GO TO 340,400
340 REM    ***   BOUCLES D'UNE SEULE FILIERE   ***
350 PRINT  \ PRINT "ENTREZ LE NUMERO DE LA FILIERE DONT VOUS VOULEZ TRACEZ";
360 PRINT " LES BOUCLES." \ PRINT "EXEMPLE :  2" \ PRINT  \ INPUT L2
370 IF L2=0 THEN 390 \ PRINT  \ PRINT "NOMBRE DE BOUCLES CONTENUES";
380 PRINT " DANS CETTE FILIERE"; \ INPUT B0
390 IF J9=1 THEN 630 \ GO TO 460
400 REM    ***   BOUCLES DE PLUSIEURS FILIERES   ***
410 PRINT  \ PRINT "ENTREZ LES NUMEROS DE LA PREMIERE ET DE LA DERNIERE";
420 PRINT " FILIERE." \ PRINT "EXEMPLE :  0,8" \ PRINT  \ INPUT I3,I4
430 IF I4<10 THEN F3$="0"&STR$(I4) \ GO TO 435
432 F3$=STR$(I4)
435 B4$=B1$&F3$&B2$ \ B=10
440 PRINT  \ PRINT "NOMBRE DE BOUCLES CONTENUES DANS LA FILIERE '";B4$;"'";
450 INPUT B1
460 PRINT  \ PRINT "LES FILIERES SE TROUVENT DANS LE DISQUE :" \ PRINT
470 PRINT "1. DY0:" \ PRINT "2. DY1:" \ PRINT "3. DL:" \ PRINT  \ INPUT I
480 ON I GO TO 490,500,510
490 F2$="DY0:" \ GO TO 520
500 F2$="DY1:" \ GO TO 520
510 F2$="DL:"
520 PRINT  \ PRINT "LES COURBES SERONT TRACEES SUR :" \ PRINT
530 PRINT "1. ECRAN CATHODIQUE" \ PRINT "2. TRACEUR" \ PRINT  \ INPUT T1
540 PRINT  \ PRINT "LES BOUCLES SERONT SUPERPOSEES [O/N]"; \ INPUT Y1$
550 IF Y1$="N" THEN Y3$="N" \ GO TO 590
555 PRINT
560 PRINT "LES BOUCLES SERONT TRACEEES CONTINUELLEMENT [O/N]"; \ INPUT Y3$
```

HYSTER

```
4000 REM
4010 REM      *** SOUROUTINE POUR TRANSFORMATION DES PARAMETRES ***
4020 REM
4030 F0=D(0,0) \ E1=D(1,0) \ L1=D(2,0) \ K3=D(3,0) \ N1=D(4,0) \ D0=D(5,0)
4040 G1=D(6,0) \ N=K3*32767+N1 \ A0=PI*D0^2/4
4050 S0=L1/A0*1.00000E+09 \ REM CONTRAINTE UNITAIRE
4060 E1=E1/G1*100 \ REM   DEFORMATION UNITAIRE  (%)
4065 IF L2=0 THEN N=1
4066 IF LEN(N1$)=0 THEN N1$=STR$(N)
4070 RETURN
4080 REM  E5=EMAX , E6=EMIN , S5=SMAX , S6=SMIN
4090 E5=ELEVEL(D(K5,0))*E1 \ E6=ELEVEL(D(K5+1,0))*E1 \ E7=E5-E6
4100 S5=ELEVEL(D(K5+2,0))*S0 \ S6=ELEVEL(D(K5+3,0))*S0 \ S7=S5-S6
4110 IF Y1$="O" THEN 4150
4120 X0=E5+.1 \ Y0=S5+50
4130 IF LEN(X0$)<>0 THEN X0=VAL(X0$)
4140 IF LEN(Y0$)<>0 THEN Y0=VAL(Y0$)
4150 X2=X0 \ X1=-X0 \ Y2=Y0 \ Y1=-Y0
4160 RETURN
5000 REM
5010 REM      ***  CALCUL DE DEFORMATION PLASTIQUE  ***
5020 REM
5030 IF Y5$<>"O" THEN RETURN
5035 S1=(S5+S6)/2 \ REM  CONTRAINTE MOYENNE
5040 FOR I1=1 TO 84 \ IF C(I1,2)<=S1 THEN 5050 \ NEXT I1
5050 E2=C(I1-1,1)-((C(I1-1,1)-C(I1,1))/(C(I1-1,2)-C(I1,2)))*(C(I1-1,2)-S1)
5060 FOR I1=85 TO 169 \ IF C(I1,2)>=S1 THEN 5070 \ NEXT I1
5070 E3=C(I1,1)-((C(I1,1)-C(I1-1,1))/(C(I1,2)-C(I1-1,2)))*(C(I1,2)-S1)
5080 E4=E2-E3 \ RETURN
6000 REM
6010 REM      ***  SOUROUTINE POUR TRACER LES BOUCLES  ***
6020 REM
6030 ON T1 GO TO 6040,6050
6040 IF K1=1 THEN 6060 \ ERASE \ GO TO 6060
6050 IF K0<>0 THEN 6060 \ GRATTACH(4,T1) \ GRON(T1)
6060 PHYL(T1,0,100,J5,100)
6070 SCALE(T1,0,X1,X2,Y1,Y2) \ IF K1=1 THEN 6080 \ AXES(T1,0,0)
6080 IF K1=1 THEN 6100
6090 LABEL(T1,"DEFORMATION %","CONTRAINTE MPA",X2,Y2,1)
6100 INVEC(T1) \ PLOTA(T1,C,1,2)
6110 IF K1=1 THEN 6260
6115 IF Y1$="O" THEN 6122
6120 N2$=STR$(N) \ COMM(T1," CYCLE # "&N2$,0,Y2)
6122 COMM(T1,DAT$,X2*2/5,Y1*8/10)
6124 IF J4=1 THEN F4$=F1$ \ GO TO 6130
6126 F4$=B3$
6130 COMM(T1,"FILIERE : "&F1$,X2/4,Y1*9/10)
6140 IF Y6$="N" THEN 6260
6150 GROFF(T1) \ PHYL(T1,0,100,0,30) \ SCALE(T1,0,0,10,0,10)
6160 A1$=STR$(INT(E5*1000+.5)/1000) \ A2$=STR$(INT(E6*1000+.5)/1000)
6170 A3$=STR$(INT(S5*10+.5)/10) \ A4$=STR$(INT(S6*10+.5)/10)
6180 A5$=STR$(INT(E7*1000+.5)/1000) \ A6$=STR$(INT(S7*10+.5)/10)
6190 COMM(T1,"DEF MAX = "&A1$&" %",0,5) \ COMM(T1,"DEF MIN = "&A2$&" %",3,5)
6200 COMM(T1,"ECART DEF = "&A5$&" %",7,5)
6210 COMM(T1,"CONT MAX = "&A3$&" MPA",0,3)
6220 COMM(T1,"CONT MIN = "&A4$&" MPA",3.5,3)
6230 COMM(T1,"ECART CONT = "&A6$&" MPA",7,3)
6240 IF Y5$="N" THEN 6260 \ A7$=STR$(INT(E4*1000+.5)/1000)
6250 COMM(T1,"ECART DEF PLASTIQUE = "&A7$&" %",0,1)
6260 K0=1
6270 IF Y1$="O" THEN K1=1 \ IF Y3$="O" THEN 6290
```

```
570 PRINT  \ PRINT "DEFORMATION MAXIMALE (%)"; \ INPUT XO
580 PRINT  \ PRINT "CONTRAINTE MAXIMALE (MPA)"; \ INPUT YO \ GO TO 620
590 PRINT  \ PRINT "DEFORMATION MAXIMALE (EN % ,'RETURN' PAR DEFAUT)"; \ INPUT X
0$
600 PRINT  \ PRINT "CONTRAINTE MAXIMALE (EN MPA,'RETURN' PAR DEFAUT)"; \ INPUT Y
0$
620 ON J4 GO TO 630,650
630 IF L2<10 THEN F3$="0"&STR$(L2) \ GO TO 635
632 F3$=STR$(L2)
635 F1$=B1$&F3$&B2$ \ OPEN F2$&F1$ FOR INPUT AS FILE #1
640 IF L2=0 THEN 1030 \ GO TO 3030
650 FOR L2=I3 TO I4 \ B0=B \ K5=7
660 IF L2<10 THEN F3$="0"&STR$(L2) \ GO TO 665
662 F3$=STR$(L2)
665 F1$=B1$&F3$&B2$ \ OPEN F2$&F1$ FOR INPUT AS FILE #1
670 IF L2=0 THEN 1030 \ IF L2<>I4 THEN 3030 \ B0=B1 \ GO TO 3030
680 NEXT L2 \ GO TO 6302
690 PRINT  \ PRINT "TRACAGE TERMINE. TAPEZ 'RETURN' POUR TERMINER."
700 A=SYS(4) \ GO TO 6330
1000 REM
1010 REM      ***  FILIERE DES 5 PREMIERS CYCLES  ***
1020 REM
1030 AINP(1,D(0,0),,0,) \ CLOSE #1 \ GOSUB 4030 \ K4=0
1040 IF K4>4 THEN 1090 \ GOSUB 4090
1050 FOR I=1 TO 170
1060 C(I,1)=ELEVEL(D(K4*170+I,1))*E1 \ C(I,2)=ELEVEL(D(K4*170+I,2))*S0
1070 NEXT I \ N=K4+1 \ GOSUB 5030 \ GOSUB 6030
1080 K4=K4+1 \ K5=K5+4 \ GO TO 1040
1090 IF J4=1 THEN 6310 \ GO TO 680
3000 REM
3010 REM      ***  FILIERE DES CYCLES INTERMEDIAIRES  ***
3020 REM
3030 IF J4=1 THEN 3040 \ K6=1 \ GO TO 3170
3040 PRINT  \ PRINT "DESIREZ-VOUS TRACER LA COURBE A DES CYCLES";
3050 PRINT " PARTICULIERS [O/N]"; \ INPUT Y2$
3060 IF Y2$="N" THEN K7=2 \ GO TO 3110
3070 K7=1 \ FOR I=1 TO B0 \ AINP(1,D(0,0),18,I*2-2,)
3080 F0=D(0,0) \ K3=D(3,0) \ N1=D(4,0)
3090 S(I)=K3*32767+N1
3100 NEXT I
3110 ON K7 GO TO 3120,3170
3120 IF T1=1 THEN ERASE
3130 PRINT  \ PRINT "BOUCLE #","CYCLES" \ PRINT
3140 FOR I=1 TO B0 \ PRINT I,S(I) \ NEXT I
3150 PRINT  \ PRINT "QUELLE BOUCLE # SERA TRACEE"; \ INPUT K6
3160 K6=K6*2-1 \ GO TO 3180
3170 IF K6>B0*2 THEN CLOSE #1 \ GO TO 6300
3180 AINP(1,D(0,0),,K6-1,) \ GOSUB 4030 \ GOSUB 4090
3190 FOR I=1 TO 170
3200 C(I,1)=ELEVEL(D(I-1,1))*E1 \ C(I,2)=ELEVEL(D(I-1,2))*S0
3210 NEXT I
3240 GOSUB 5030 \ GOSUB 6030 \ K6=K6+2
3250 IF Y3$="O" THEN 3170 \ PRINT  \ PRINT "DESIREZ-VOUS CONTINUER";
3260 PRINT " AVEC LA PRESENTE FILIERE [O/N]"; \ INPUT Y$
3270 IF Y$<>"O" THEN CLOSE #1 \ ERASE \ HOME \ GO TO 6310
3330 GO TO 3110
```

HYSTER.

```
6280 A=SYS(4)
6290 IF A=7 THEN 6310 \ RETURN
6300 IF J4=2 THEN 660 \ IF Y1$<>"O" THEN 6530
6302 N2$=STR$(N) \ COMM(T1," CYCLES # "&N1$&" A "&N2$,0,Y2)
6304 PRINT CHR$(7) \ A=SYS(4) \ IF J4=2 THEN 6330 \ IF T1=1 THEN HOME
6310 PRINT  \ PRINT "DESIREZ-VOUS TRACER LES COURBES DES AUTRES";
6315 PRINT " FILIERES [O/N]"; \ INPUT Y4$
6320 IF Y4$<>"O" THEN 6330 \ K6=1 \ J9=1 \ N1$="" \ GO TO 350
6330 IF T1=2 THEN GROFF(T1) \ GRDETACH(T1) \ GO TO 6350
6340 GROFF(T1)
6350 END
```

Annexe D

Imprimé du programme REPCON

HYSTER.

```
6280 A=SYS(4)
6290 IF A=7 THEN 6310 \ RETURN
6300 IF J4=2 THEN 680 \ IF Y1$<>"O" THEN 6530
6302 N2$=STR$(N) \ COMM(T1," CYCLES # "&N1$&" A "&N2$,0,Y2)
6304 PRINT CHR$(7) \ A=SYS(4) \ IF J4=2 THEN 6330 \ IF T1=1 THEN HOME
6310 PRINT  \ PRINT "DESIREZ-VOUS TRACER LES COURBES DES AUTRES";
6315 PRINT " FILIERES [O/N]"; \ INPUT Y4$
6320 IF Y4$<>"O" THEN 6330 \ K6=1 \ J9=1 \ N1$="" \ GO TO 350
6330 IF T1=2 THEN GROFF(T1) \ GRDETACH(T1) \ GO TO 6350
6340 GROFF(T1)
6350 END
```

Annexe D

Imprimé du programme REPCON

```
REPCON  10-NOV-83  MTS 773 MU BASIC V01.07L

100 REM          PROGRAMME   REPCON
110 DIM D(170,2),C(170,2),S(200,7)
120 A=SYS(6,80) \ DATA 0,2,1,0,2
130 REM  INITIALISATION DES FLAGS
140 REM   I0,I1,I2,I3,I4
150 REM   J0,J1,J2,J3,J4,J5,J6,J7,J8,J9
160 REM   K0,K1,K2,K3,K4,K5,K6,K7
170 J5=0 \ K0=0 \ K1=1 \ K7=0
180 J0=0 \ J9=7
190 PRINT "ENTREZ LA COMMANDE DESIREE :" \ PRINT
200 PRINT "1. COURBE DEFORMATION MAX & MIN VS # DE CYCLES"
210 PRINT "2. COURBE CONTRAINTE MAX,MIN & MOY VS # DE CYCLES"
220 PRINT "3. COURBE CONTRAINTE MAX,MIN & MOY VS % N"
230 PRINT "4. COURBE ECART DE CONTRAINTE VS # DE CYCLES"
240 PRINT "5. COURBE ECART DE CONTRAINTE VS % N"
250 PRINT  \ INPUT J1
260 IF J1<>3 THEN IF J1<>5 THEN J9=0 \ J0=1
270 IF Y3$="0" THEN 5310
280 PRINT  \ PRINT "DESIREZ-VOUS CALCULER LA DEFORMATION PLASTIQUE [O/N]";
290 INPUT Y$ \ IF Y$="O" THEN K7=1
300 PRINT  \ PRINT "ENTREZ LE NOM PRINCIPAL DES FILIERES (SANS NUMERO) ET";
310 PRINT " SON EXTENSION." \ PRINT "EXEMPLE :  X.DNF" \ PRINT  \ INPUT F1$
320 PRINT  \ PRINT "ENTREZ LES NUMEROS DE LA PREMIERE ET DE LA DERNIERE";
330 PRINT " FILIERE." \ PRINT "EXEMPLE :  0,9" \ PRINT  \ INPUT J2,J3
340 F3$=STR$(J3)
350 IF J3<10 THEN F3$="0"&STR$(J3) \ GO TO 360
360 P=POS(F1$,".",1) \ A1$=SEG$(F1$,1,P-1) \ A2$=SEG$(F1$,P,12)
370 A3$=A1$&" "&A2$ \ A4$=A1$&F3$&A2$
380 B=10
390 PRINT  \ PRINT "NOMBRE DE BOUCLES CONTENUES DANS LA FILIERE '";A4$;"'";
400 INPUT B1
410 PRINT  \ PRINT "LES FILIERES SE TROUVENT DANS LE DISQUE :" \ PRINT
420 PRINT "1. DY0:" \ PRINT "2. DY1:" \ PRINT "3. DL:" \ PRINT  \ INPUT I
430 ON I GO TO 440,450,460
440 F2$="DY0:" \ GO TO 470
450 F2$="DY1:" \ GO TO 470
460 F2$="DL:"
470 FOR I0=J2 TO J3 \ B0=B \ K5=7
480 IF I0<10 THEN F3$="0"&STR$(I0) \ GO TO 500
490 F3$=STR$(I0)
500 F1$=A1$&F3$&A2$ \ OPEN F2$&F1$ FOR INPUT AS FILE #1
510 IF I0=0 THEN 1030 \ IF I0<>J3 THEN 3030 \ B0=B1 \ GO TO 3030
520 IF Y1$="O" THEN 2030
530 IF I0=J3 THEN B0=B1
540 GO TO 3030
550 NEXT I0
560 GO TO 5030
```

REPCON

```
1000 REM
1010 REM   ***  FILIERE DES PREMIERS CYCLES  ***
1020 REM
1030 AINP(1,D(0,0),90,0,) \ GOSUB 4030
1040 FOR I1=1 TO 5 \ S(K1,0)=I1 \ S(K1,1)=ELEVEL(D(K5,0))*E1
1050 S(K1,2)=ELEVEL(D(K5+1,0))*E1 \ S(K1,3)=ELEVEL(D(K5+2,0))*S0
1060 S(K1,4)=ELEVEL(D(K5+3,0))*S0 \ S(K1,5)=(S(K1,3)+S(K1,4))/2 \ REM CONT MOY
1070 S(K1,6)=S(K1,3)-S(K1,4) \ REM  ECART CONT.
1080 K1=K1+1 \ K5=K5+4 \ NEXT I1
1090 IF K7=0 THEN 1150
1100 K1=1 \ FOR I1=1 TO 5 \ READ I4 \ AINP(1,D(0,I4),510,I1*2-2,)
1110 FOR I2=1 TO 170 \ C(I2,1)=ELEVEL(D(I2,1))*E1 \ REM NE PAS CHANGER A D(I2-1,
...
1120 C(I2,2)=ELEVEL(D(I2,2))*S0 \ NEXT I2 \ GOSUB 4530
1130 S(K1,7)=E4 \ REM  ECART DEF.PLASTIQUE
1140 K1=K1+1 \ NEXT I1
1150 CLOSE #1 \ GO TO 550
3000 REM
3010 REM   ***  FILIERE DES CYCLES INTERMEDIAIRES  ***
3020 REM
3030 FOR I1=1 TO B0 \ AINP(1,D(0,0),,I1*2-2,) \ GOSUB 4030
3040 S(K1,0)=N \ S(K1,1)=ELEVEL(D(K5,0))*E1 \ S(K1,2)=ELEVEL(D(K5+1,0))*E1
3050 S(K1,3)=ELEVEL(D(K5+2,0))*S0 \ S(K1,4)=ELEVEL(D(K5+3,0))*S0
3060 S(K1,5)=(S(K1,3)+S(K1,4))/2 \ S(K1,6)=S(K1,3)-S(K1,4)
3070 IF K7=0 THEN 3110
3080 FOR I2=1 TO 170 \ C(I2,1)=ELEVEL(D(I2-1,1))*E1
3090 C(I2,2)=ELEVEL(D(I2-1,2))*S0 \ NEXT I2 \ GOSUB 4530
3100 S(K1,7)=E4 \ REM  ECART DE DEF.PLASTIQUE
3110 K1=K1+1 \ NEXT I1
3120 CLOSE #1 \ GO TO 550
4000 REM
4010 REM   ***  SOUROUTINE POUR TRANSFORMATION DES PARAMETRES  ***
4020 REM
4030 F0=D(0,0) \ E1=D(1,0) \ L1=D(2,0) \ K3=D(3,0) \ N=K3*32767+D(4,0)
4040 D0=D(5,0) \ G1=D(6,0)
4050 A0=PI*D0^2/4 \ S0=L1/A0*1.00000E+09 \ REM  CONTRAINTE UNITAIRE (MPA)
4060 E1=E1/G1*100
4070 RETURN
4500 REM
4510 REM   ***  CALCUL DE DEFORMATION PLASTIQUE  ***
4520 REM
4530 S1=S(K1,5) \ REM  CONT.MOY.
4540 FOR I3=1 TO 84 \ IF C(I3,2)<=S1 THEN 4550 \ NEXT I3
4550 E2=C(I3-1,1)-((C(I3-1,1)-C(I3,1))/(C(I3-1,2)-C(I3,2)))*(C(I3-1,2)-S1)
4560 FOR I3=85 TO 169 \ IF C(I3,2)>=S1 THEN 4570 \ NEXT I3
4570 E3=C(I3,1)-((C(I3,1)-C(I3-1,1))/(C(I3,2)-C(I3-1,2)))*(C(I3,2)-S1)
4580 E4=E2-E3 \ RETURN
5000 REM
5010 REM    ***  CALCUL DES PARAMETRES   ***
5020 REM
5030 PRINT  \ PRINT "DESIREZ-VOUS AJOUTER D'AUTRES POINTS [O/N]"; \ INPUT Y4$
5040 IF Y4$<>"O" THEN 5100
5050 PRINT  \ PRINT "NOMBRE DE POINTS QUE VOUS VOULEZ ENTRER"; \ INPUT B2
5060 PRINT  \ PRINT "ENTREZ LES PARAMETRES DANS L'ORDRE :"
5070 PRINT "CYCLE #, E MAX (%), E MIN (%), S MAX (MPA), S MIN (MPA)"
5080 PRINT  \ FOR I=1 TO B2 \ INPUT S(K1,0),S(K1,1),S(K1,2),S(K1,3),S(K1,4)
5090 K1=K1+1 \ NEXT I
5100 PRINT  \ PRINT "DESIREZ-VOUS IMPRIMER LES VALEURS DES PARAMETRES ";
5110 PRINT " ET # DE CYCLES [O/N]"; \ INPUT Y1$
5120 IF Y1$="N" THEN 5210
```

REPCON

```
5130 PRINT  \ PRINT "FILIERE : ";A3$
5140 PRINT  \ PRINT  \ PRINT "CYCLES";TAB(13)"E MAX";TAB(24)"E MIN";
5150 PRINT TAB(35)"E PLAST";TAB(47)"S MAX";TAB(57)"S MIN";
5160 PRINT TAB(69)"S MOY" \ PRINT TAB(15)"%";
5170 PRINT TAB(26)"%";TAB(38)"%";TAB(48)"MPA";TAB(58)"MPA";TAB(70)"MPA"
5180 PRINT
5190 FOR I=1 TO K1-1 \ PRINT S(I,0);TAB(11)S(I,1);TAB(22)S(I,2);TAB(34)S(I,7);
5200 PRINT TAB(45)S(I,3);TAB(56)S(I,4);TAB(67)S(I,5) \ NEXT I
5210 X1=S(1,0) \ Y1=S(1,1) \ Y2=S(1,2) \ Y3=S(1,3) \ Y4=S(1,4)
5220 FOR I=1 TO K1-1
5230 IF S(I,0)>X1 THEN X1=S(I,0)
5240 IF S(I,1)>Y1 THEN Y1=S(I,1)
5250 IF S(I,2)<Y2 THEN Y2=S(I,2)
5260 IF S(I,3)>Y3 THEN Y3=S(I,3)
5270 IF S(I,4)<Y4 THEN Y4=S(I,4)
5280 NEXT I
5290 Y5=(Y3+Y4)/2 \ Y7=Y3-Y4 \ IF Y3>ABS(Y4) THEN Y6=Y3 \ GO TO 5310
5300 Y6=ABS(Y4)
5310 ON J1 GO TO 5320,5330,5330,5340,5340
5320 A$="DEFORMATION  %" \ Y0=Y1+.05 \ J4=.2 \ GO TO 5350
5330 A$="CONTRAINTE  MPA" \ Y0=Y6+10 \ J4=200 \ GO TO 5350
5340 A$="ECART CONTRAINTE  MPA" \ Y0=Y7+10 \ J4=200
5350 PRINT  \ PRINT "LA COURBE SERA TRACEE SUR :" \ PRINT
5360 PRINT "1. ECRAN CATHODIQUE" \ PRINT "2. TRACEUR" \ PRINT  \ INPUT T1
5370 PRINT  \ PRINT "DESIREZ-VOUS TRACER LES COURBES AVEC :" \ PRINT
5380 PRINT "1. DES POINTS" \ PRINT "2. DES CROIX" \ PRINT  \ INPUT K4
5390 IF J1<>3 THEN IF J1<>5 THEN 5430
5400 X0=100 \ J6=0 \ J7=0 \ J8=20 \ A5$="% N" \ IF J5<>0 THEN 5470
5410 PRINT  \ PRINT "ENTREZ LE NOMBRE DE CYCLES A RUPTURE N"; \ INPUT N0 \ J5=1
5420 FOR I=1 TO K1-1 \ S(I,7)=S(I,0)/N0*100 \ NEXT I \ GO TO 6030
5430 X0=X1 \ J6=2 \ J7=1 \ J8=1 \ A5$="CYCLES"
5440 IF J1<>4 THEN IF J1<>5 THEN K6=-Y0 \ GO TO 5460
5450 K6=0
5460 PRINT  \ PRINT "# DE CYCLES MAXIMAL ('RETURN' PAR DEFAUT)"; \ INPUT X0$
5470 PRINT  \ PRINT A$" ('RETURN' PAR DEFAUT)"; \ INPUT Y0$
5480 IF J5<>0 THEN 5500
5490 IF LEN(X0$)<>0 THEN X0=VAL(X0$)
5500 IF LEN(Y0$)<>0 THEN Y0=VAL(Y0$)
5510 IF J1<>4 THEN IF J1<>5 THEN K6=-Y0 \ GO TO 6030
5520 K6=0 \ GO TO 6030
5530 GO TO 6030
6000 REM
6010 REM   ***  SOUROUTINE POUR TRACER LA COURBE  ***
6020 REM
6030 ON T1 GO TO 6040,6050
6040 ERASE \ GO TO 6060
6050 IF K0=1 THEN 6060 \ GRATTACH(4,T1) \ GRON(T1) \ K0=1
6060 PHYL(T1,0,100,0,100)
6070 SCALE(T1,J6,J7,X0,K6,Y0) \ AXES(T1,J7,0)
6080 LABEL(T1,A5$,A$,J8,J4,1) \ LABEL(T1," "," ",X0,Y0,1)
6090 ON K4 GO TO 6100,6170
6100 ON J1 GO TO 6110,6130,6130,6160,6160
6110 FOR I=1 TO K1-1 \ AXES(T1,S(I,0),S(I,1),1,0))
6120 AXES(T1,S(I,0),S(I,2)) \ NEXT I \ GO TO 6230
6130 FOR I=1 TO K1-1 \ AXES(T1,S(I,J9),S(I,3),K7,0)
6140 AXES(T1,S(I,J9),S(I,4),K7,0) \ AXES(T1,S(I,J9),S(I,5),K7,0)
6150 NEXT I \ GO TO 6230
6160 FOR I=1 TO K1-1 \ AXES(T1,S(I,J9),S(I,6),K7,0) \ NEXT I \ GO TO 6230
6170 ON J1 GO TO 6180,6200,6200,6220,6220
```

REPCON

```
6180 FOR I=1 TO K1-1 \ MARK(T1,4,S(I,0),S(I,1))
6190 MARK(T1,4,S(I,0),S(I,2)) \ NEXT I \ GO TO 6230
6200 FOR I=1 TO K1-1 \ MARK(T1,4,S(I,J9),S(I,3))
6210 MARK(T1,4,S(I,J9),S(I,4)) \ MARK(T1,4,S(I,J9),S(I,5)) \ NEXT I \ GO TO 6230
6220 FOR I=1 TO K1-1 \ MARK(T1,4,S(I,J9),S(I,6)) \ NEXT I
6230 COMM(T1,DAT$,1.2,Y0/4) \ COMM(T1,"FILIERE : "&A3$,1.2,Y0/6)
6240 COMM(T1,X0$,X0,0)
6250 ON T1 GO TO 6260,6300
6260 COMM(T1,"TRACER LA COURBE SUR LE TRACEUR [O/N]",1.2,Y0/10)
6270 INPUT Y2$
6280 IF Y2$<>"O" THEN 6290 \ T1=2 \ GO TO 6050
6290 ERASE
6300 PRINT  \ PRINT "DESIREZ-VOUS TRACER LES AUTRES COURBES [O/N]"; \ INPUT Y3$
6310 IF Y3$<>"O" THEN 6320 \ PRINT  \ GO TO 180
6320 GROFF(T1) \ GRDETACH(T1) \ END
```

POOR

QUALITY

ORIGINAL